



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY

INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

**STUDIE INTENZIFIKACE KOŘENOVÉ ČISTÍRNY
PRO OBEC MACHOVÁ**

THE STUDY OF INTENSIFICATION OF THE CONSTRUCTED TREATMENT WETLAND
FOR THE VILLAGE OF MACHOVÁ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

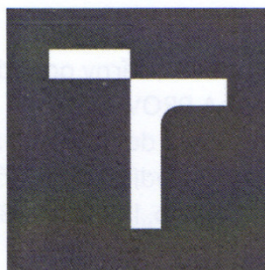
Ondřej Zedník

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. MICHAL KRIŠKA, Ph.D.

BRNO 2018



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3656 Městské inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program
Studijní obor	3647R025 Městské inženýrství
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Ondřej Zedník
Název	Studie intenzifikace kořenové čistírny pro obec Machová
Vedoucí práce	Ing. Michal Křiška, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2017
Datum odevzdání	25. 5. 2018

V Brně dne 30. 11. 2017

prof. Ing. Miloš Starý, CSc.
Vedoucí ústavu



prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc.,
MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- 1) Kriška, M., Němcová, M.: Kořenové čistírny odpadních vod - METODICKÁ PŘÍRUČKA PRO POVOLOVÁNÍ, NÁVRH, REALIZACI A PROVOZ, 2015
- 2) ČSN 756402 Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel
- 3) Rozkošný, M., Kriška, M., Šálek, J., Bodík, I., Istenič, D.: Natural Technologies of Wastewater Treatment, 2014., 138 p., ISBN: 978-80-214-4831-5
- 4) Databáze vědeckých článků sciencedirect.com
- 5) Podklady dostupné z online databázi - geografické, hydrologické, mapové, apod.
- 6) Podklady vyžádané od pana starosty (historická data, průtoky, koncentrace)

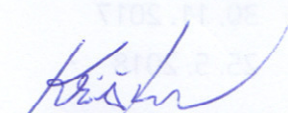
ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Obec Machová je vystavena tlaku z pohledu správce vodního toku a životního prostředí na intenzifikaci stávající zastaralé kořenové čistírny odpadních vod. Stávající čistírna sice částečně splňuje požadavky platných nařízení vlády, nicméně odtékající voda obsahuje vysoké koncentrace amoniaku a fosforu. Intenzifikace by měla vyřešit tyto dva největší problémy, současně by ale měla vyřešit kalové hospodářství a další drobné detaily. Navržené řešení by mělo sloužit jako podklad pro stavební povolení. Výstupem by měl být jak obecný popis technologie, navrhovaného řešení, podrobná technická zpráva a výkresová dokumentace.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).


Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Obec Machová (650 obyvatel) provozuje jednotnou stokovou soustavu, která ústí na kořenovou čistírnu odpadních vod. Čistírna se potýká s obdobnými problémy jako většina kořenových čistíren z přelomu minulého století - vykazuje nízkou účinnost v odstranění amoniakálního dusíku N-NH_4^+ , a tím způsobuje negativní ovlivnění vodního odtoku a životního prostředí. Studie se zabývá technickou úpravou provozní linky, kterou by došlo k eliminaci výše zmiňovaných problémů, a řešením kalového hospodářství v areálu čistírny. Růst obce spojený s výstavbou splaškové kanalizace v budoucnu zapříčiní zvýšení koncentrace znečištění v přítékající odpadní vodě. Navržená úprava s využitím nejnovějších vědeckých poznatků a ověřených technologií, které vznikly na Ústavu vodního hospodářství krajiny, zajistí s rezervou požadované koncentrace sledovaných ukazatelů znečištění na odtoku stanovených platnou legislativou nejen dnes, ale i v případě potenciálního zvýšení počtu obyvatel v obci.

KLÍČOVÁ SLOVA

Kořenová čistírna odpadních vod, dusík, fosfor, horizontální filtr, vertikální filtr

ABSTRACT

The village Machová (650 inhabitants) operates a combined sewage system which leads to a treatment wetland. This wastewater treatment plant faces similar problems like most of treatment wetlands from the turn of the last century - it has a low efficiency of the removal of ammonia nitrogen N-NH_4^+ which causes a negative impact on the watercourses and the environment. The study deals with the technical modification of the operating line which would eliminate the abovementioned problems and solves the sludge treatment in treatment plant. Population growth in the village connected with the construction of sanitary sewer will cause high concentrations of pollution in the inflow. The proposed modification uses the latest scientific knowledge and proven technologies which were created by the Institute of Landscape Water Management. These technologies will secure the low effluent concentrations of monitored parameters not only today but also in case the population of the village will grow.

KEYWORDS

Constructed wetland, nitrogen, phosphorus, horizontal flow wetland, vertical flow wetland

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

ZEDNÍK, Ondřej. *Studie intenzifikace kořenové čistírny pro obec Machová*. Brno, 2018. 73 s., 47 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 22. 5. 2018

Ondřej Zedník
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalovi Kříškovi, Ph.D. za cenné rady, ochotu a čas, který mi věnoval nejen při řešení této bakalářské práce. Děkuji také svojí rodině za podporu a pomoc při studiu, jehož vyústěním je tato bakalářská práce.

OBSAH

1	ÚVOD.....	10
2	CÍLE.....	12
3	KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD	13
3.1	Typy umělých mokřadů.....	13
3.1.1	Umělé mokřady s povrchovým průtokem.....	13
3.1.2	Umělé mokřady s podpovrchovým průtokem.....	14
3.1.3	Hybridní (kombinované) umělé mokřady	15
3.2	Mechanické předčištění.....	15
3.2.1	Odlehčovací komora	16
3.2.2	Dešťová nádrž	17
3.2.3	Česle	18
3.2.4	Lapák písku.....	20
3.2.5	Usazovací nádrž	21
3.2.6	Septik.....	23
3.3	Horizontální kořenové filtry	24
3.3.1	Návrh horizontálního filtru	24
3.3.2	Konstrukční provedení.....	26
3.3.3	Účinnost horizontálního kořenového filtru	29
3.4	Vertikální kořenové filtry	30
3.4.1	Návrhové parametry	30
3.4.2	Konstrukční provedení.....	31
3.4.3	Účinnost vertikálního filtru	33
3.5	Ukazatele znečištění odpadních vod	34
3.5.1	Biochemická spotřeba kyslíku.....	34
3.5.2	Chemická spotřeba kyslíku.....	34
3.5.3	Nerozpuštěné látky	35
3.5.4	Amoniakální dusík	35
3.5.5	Celkový dusík.....	35
3.5.6	Celkový fosfor.....	36
3.5.7	Požadavky kladené na kvalitu vypuštěných odpadních vod v ČR	36
3.6	Procesy zajišťující odstranění organických látek v kořenových čistírnách	37
3.6.1	Aerobní degradace	37
3.6.2	Anaerobní degradace.....	37
3.7	Procesy podílející se na odstraňování dusíku v kořenových čistírnách.....	38

3.7.1	Amonifikace	38
3.7.2	Nitrifikace	39
3.7.3	Denitrifikace	39
3.7.4	Těkání	40
3.7.5	Odběr rostlinami.....	41
3.7.6	Adsorpce	42
3.8	Procesy podílející se na odstranění fosforu v kořenových čistírnách	43
3.8.1	Odběr rostlinami.....	43
3.8.2	Adsorpce	43
3.8.3	Chemické srážení fosforu	44
3.9	Současný stav kořenových čistíren v ČR.....	45
4	KOŘENOVÁ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD V OBCI MACHOVÁ	46
4.1	Současný stav kořenové čistírny Machová.....	47
4.1.1	Zatížení čistírny na přítoku	49
4.1.2	Současná účinnost čistírny	52
4.1.3	Problémy vyplývající ze současného řešení čistírny.....	54
4.2	Navrhovaná úprava čistírny	55
4.2.1	Výpočet účinnosti navrhované úpravy.....	56
4.2.2	Výpočet účinnosti čistírny po rekonstrukci stokové sítě	61
4.2.3	Kalové hospodářství	64
5	ZÁVĚR.....	66
6	POUŽITÁ LITERATURA.....	68
	SEZNAM TABULEK	70
	SEZNAM OBRÁZKŮ	71
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	72
	SEZNAM PŘÍLOH.....	73

1 ÚVOD

Voda představuje základní složku života na Zemi. Včetně toho, že je nedílnou součástí většiny živých organismů, tak je i mimo jiné využívána člověkem pro běžnou denní spotřebu. Z hlediska potřeby vody pro člověka lze za nejdůležitější označit takovou vodu, která svojí kvalitou a vlastnostmi odpovídá vodě pitné. Při spotřebě takovéto vody dochází k přirozenému ovlivnění jejích vlastností. Voda, jejíž vlastnosti byly ovlivněny lidskou činností, je následně označována jako voda odpadní. Právě odpadní voda byla v dřívějších dobách vypouštěna bez jakékoliv úpravy do vodních toků, čímž docházelo k negativnímu ovlivňování přirozeného prostředí vodních toků a také jejich ekosystémů. Další problém představovalo zhoršování samotné kvality vody, která by mohla být později využita pro účely vody pitné. Z této znepokojivé situace vyplynuly snahy o snižování množství znečištění vypouštěného do vod povrchových či podpovrchových právě pomocí čistíren odpadních vod.

Čistírny odpadních vod představují takové technologie, které zajišťující eliminaci vypouštěného znečištění obsaženého v odpadní vodě až na povolené limity, jejichž hodnoty stanovuje stát, resp. státem definovaná legislativní pravidla. Jednu z technologií pro čištění odpadních vod tvoří právě kořenové čistírny odpadních vod. Kořenové čistírny zastupují systém čištění odpadní vody odvozený od v přírodě se běžně vyskytujících mokřadů. Mokřadní prostředí v krajině poskytuje ideální podmínky pro průběh fyzikálních, chemických a biologických procesů, s jejichž pomocí je znečištění ve vodě eliminováno. Nastavení vhodných podmínek pro průběh zmiňovaných procesů přírodních mokřadů je předmětem návrhu mokřadů umělých, které jsou často označovány již zmiňovaným pojmem kořenové čistírny. Při takovémto návrhu lze pomocí konstrukčních a provozních parametrů ovlivnit typy probíhajících procesů a zároveň jejich účinnost tak, aby byl zajištěn požadovaný úbytek znečištění obsaženého v odpadní vodě.

V současné době existuje v České republice velká řada kořenových čistíren odpadních vod, které byly navrženy na přelomu tisíciletí a po několika desetiletích nejsou schopny plnit platné legislativní požadavky na vyčištěné odpadní vody. Jednou z těchto čistíren je i čistírna v obci Machová. Ačkoliv se řešená čistírna nepotýká s překračováním požadovaných emisních limitů na odtoku, její účinnost při odstranění jednotlivých složek znečištění je nízká, zvláště potom při odbourání amoniakálního dusíku a fosforu. Zároveň právě nadměrný obsah fosforu a dusíku v odpadní vodě nepříznivě ovlivňuje prostředí vodního toku a může být příčinou eutrofizace vod. Vyřešení uvedeného problému prostřednictvím důmyslné intenzifikace je hlavním cílem navrhované úpravy.

Samotná intenzifikace se bude soustředit nejen na zvýšení účinnosti čistírny, ale zároveň i na optimalizaci provozních nákladů, např. vybudováním vlastního extenzivního kalového hospodářství, které je založeno na systému reed-bed.

2 CÍLE

První část práce bude zpracována formou literární rešerše s hlavním cílem ozřejmit problematiku návrhu kořenových čistíren. Blíže bude rozebrán návrh jednotlivých objektů mechanického předčištění a jejich vliv na celkový provoz čistírny. V navazující části by měla být pozornost věnována především horizontálním a vertikálním kořenovým filtrům, zásadám pro jejich návrh a konstrukčnímu řešení. V závislosti na představení návrhu jednotlivých částí čistírny bude také vhodné objasnit samotné ukazatele znečištění odpadní vody, které vstupují do návrhových výpočtů a využívají se k dimenzování jednotlivých objektů. Zároveň jeden z cílů práce představuje vysvětlení jednotlivých typů procesů, které se podílejí na odstranění znečištění přitékající odpadní vody, a to především dusíku a fosforu.

V druhé části by měl být vypracován návrh intenzifikace čistírny v obci Machová, který vychází z poznatků představených v části literární rešerše a z podkladů, které dodalo zastupitelstvo obce Machová. Návrh intenzifikace by měl řešit problém nízké účinnosti čistírny především při odstranění amoniakálního dusíku a fosforu. Součástí intenzifikace by také mělo být řešení kalového hospodářství v areálu čistírny takové, aby produkovaným kalem ve stupni mechanického předčištění nemusela být zatěžována jiná čistírna s řešeným kalovým hospodářstvím. Vlastní kalové hospodářství bude pro obec zároveň znamenat značnou finanční úsporu, která v současné době tvoří výraznou položku v rámci provozních nákladů čistírny odpadních vod.

V neposlední řadě by výstupem práce měla být technická zpráva a výkresová dokumentace, která rozvede navrhovanou úpravu do takových detailů, aby bylo možné na jejím základě zpracovat dokumentaci pro stavební povolení.

Úpravy jednotlivých objektů, řešení změny uspořádání a toku jednotlivými objekty, výstavba nového reed-bed systému a další drobné úpravy, vše je řešeno tak, aby byly „spokojené“ všechny zúčastněné strany. Cílem je tedy návrh, který bude založen na filozofii „přirozeného čištění“ a postupně zajistí:

- Obci se úpravou čistírny nezvýší provozní náklady.
- Čistírna bude připravena na zvýšení počtu producentů.
- Čistírna bude fungovat se stejnou účinností i při vybudování nové kanalizace.
- Zlepší se účinnost čistírny v odstraňování všech sledovaných parametrů se zaměřením na P_{celk} , $N\text{-NH}_4^+$ a N_{celk} .
- Dojde ke zlepšení kvality vody v recipientu.
- Zvýší se biodiverzita vodního toku.

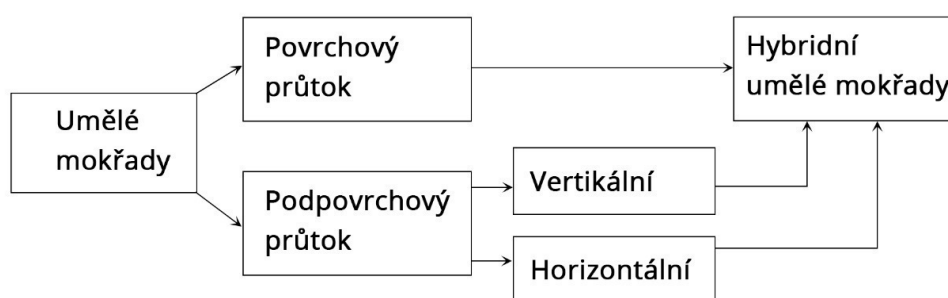
3 KOŘENOVÉ ČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD

Pojem kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) označuje uměle vytvořené struktury na bázi přirozeně se vyskytujících mokřadů. V těchto mokřadech se pro odbourání znečištění využívají přírodní procesy, které se následně uplatňují u mokřadů umělých (Vymazal, 2004). Hlavními složkami umělých mokřadů jsou mokřadní vegetace a šterkový či písčité substrát. Tyto komodity v kombinaci s dalšími faktory umožňují průběh fyzikálních, biologických a chemických procesů vedoucích k zajištění účinného čištění odpadních vod. Průběh zmiňovaných procesů lze ovlivnit například zvoleným typem mokřadu, povětrnostními vlivy, návrhovými parametry či složením přitékající odpadní vody (Saeed, 2012).

3.1 TYPY UMĚLÝCH MOKŘADŮ

K rozdělení umělých mokřadů je možné přistupovat z několika hledisek, z nichž nejčastějšími jsou rozdělení podle typu použité mokřadní vegetace a režimu průtoku odpadní vody (Vymazal, 2007). Vzhledem k zaměření práce a samotnému řešení čistírny v obci Machová bylo zvoleno rozdělení podle režimu průtoku vody.

Podle režimu průtoku lze umělé mokřady rozdělit na mokřady s povrchovým a podpovrchovým průtokem odpadní vody, přičemž právě druhý zmiňovaný typ mokřadu bývá označován jako kořenové čistírny. Kořenové čistírny mohou být dále děleny na systémy s vertikálním nebo horizontálním průtokem vody (obr.1). Pokud dochází ke kombinaci jednotlivých typů mokřadů, tak hovoříme o hybridních (kombinovaných) mokřadech (Vymazal, 2004). Jednotlivé typy systémů se zaměřením na podpovrchově protékané systémy jsou podrobněji popsány v následujících kapitolách bakalářské práce.



Obr. 1 Rozdělení umělých mokřadů (Vymazal, 2004)

3.1.1 Umělé mokřady s povrchovým průtokem

Konstruované mokřady s povrchovým průtokem se vyznačují volnou vodní hladinou s množstvím mokřadní vegetace. Proto lze mokřady s povrchovým průtokem označit jako typ mokřadů, který svým vzhledem připomíná přírodní mokřady nejvíce

(Dotro, 2017). Zároveň je možné mokřady s volnou hladinou dále rozdělit dle použitých druhů vegetace na mokřady s vynořenou vegetací, ponořenou vegetací, mokřady s volně plovoucími rostlinami a mokřady, které využívají rostliny s plovoucími listy (Vymazal, 2004). (Wang, 2017) uvádí jako hlavní způsoby odstranění znečištění odpadní vody v systémech s povrchovým průtokem mikrobiální degradaci, usazování nerozpuštěných látek a také filtraci přes husté kořeny rostlin. Nedostatky těchto systémů představují vysoké ekonomické náklady spojené s pravidelným sklizením biomasy a nedostatek přístupu světla, který limituje fotosyntézu rostlin. Dalším úskalím může být vysoký požadavek na dodávku kyslíku pro více zatížené systémy, což vede k nutnosti zajištění intenzivního provzdušňování systému (Vymazal, 2004). Celkovou čistící účinnost těchto systémů určuje především jejich velikost a složením přitékající odpadní vody. Obecně systémy s povrchovým průtokem nedosahují takových účinností jako mokřady s podpovrchovým průtokem. Z důvodu nižších účinností jsou povrchově protékané mokřady využívány především pro dočištění odpadní vody spojené s redukcí dusíku a fosforu (Wang, 2017).

3.1.2 Umělé mokřady s podpovrchovým průtokem

Jak je již z názvu patrné, umělý mokřad s podpovrchovým průtokem nedisponuje volnou vodní hladinou, naopak hladina vody je udržována pod jeho povrchem. Princip těchto systémů je založen na průtoku odpadní vody přes filtrační pole podobající se zemním filtrům, které je vyplněno filtračním materiálem. Jako filtrační materiál je nejčastěji používáno kamenivo (Vymazal, 2004). Ve filtračním poli následně probíhají fyzikální, biologické a chemické procesy, jejichž účinkem dochází k odstranění znečištění z odpadní vody. Zmiňované procesy jsou částečně podpořeny mokřadní vegetací, která je vysázena na povrchu filtru (Dotro, 2017).

Z hlediska průtoku vody můžeme mokřady s podpovrchovým průtokem, často také označovány jako kořenové čistírny, rozdělit na horizontální a vertikální (Vymazal, 2016). Rozdělení z hlediska průtoku je odvozeno od směru průtoku odpadní vody jednotlivými filtračními poli čistírny, které tvoří hlavní čistící stupeň. Samotná konstrukce horizontálních a vertikálních filtrů se liší již zmiňovaným směrem průtoku odpadní vody přes médium filtračního pole a s tím spojeným odlišným zapojením potrubních rozvodů, ale také skladbou filtračního materiálu. Důležitý rozdíl mezi těmito filtry představuje hodnota požadované plochy filtru na 1 EO, která vyznívá výrazně lépe pro vertikální filtry. Další rozdíly lze nalézt v průběhu jednotlivých chemických a biologických reakcí, které jsou závislé na množství dostupného kyslíku, přičemž toto množství je u každého typu filtru rozdílné (Křiška, 2015). Specifikace jednotlivých procesů v horizontálních a vertikálních filtrech je tak obsáhlá, že oběma typům byla věnována samostatná kapitola.



Obr. 2 Horizontální filtrační pole kořenové čistírny v obci Machová

3.1.3 Hybridní (kombinované) umělé mokřady

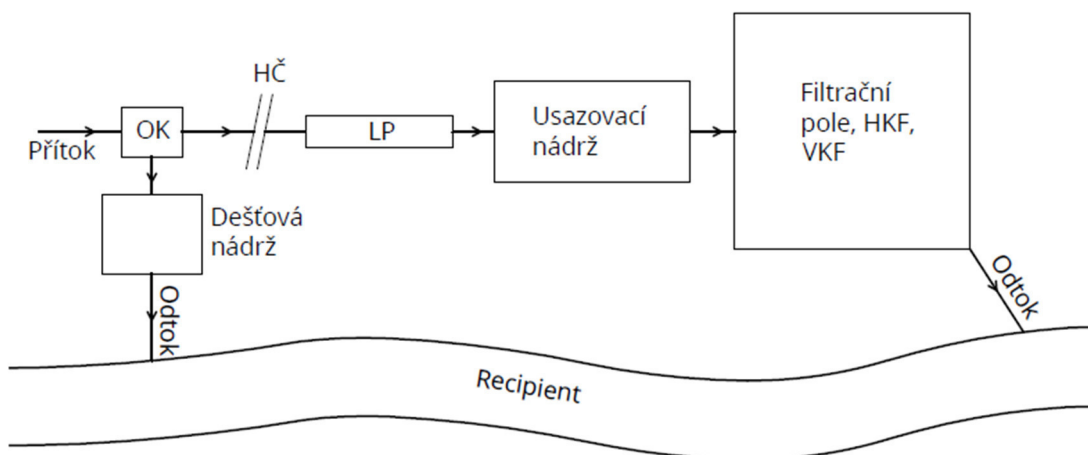
Hybridní (kombinované) mokřady využívají odlišných vlastností předešlých typů za účelem zlepšení celkové účinnosti čištění. Kombinace horizontálního a vertikálního filtru s možným doplněním povrchově protékaného filtru může vést ke zlepšení účinnosti především při odstranění celkového dusíku (Vymazal, 2007). Zařazení stabilizační nádrže za filtračními poli se uplatňuje při vysokých požadavcích na kvalitu vyčištěné vody (snížení obsahu amoniaku, koncentrace CHSK_{Cr}) (Křiška, 2015).

3.2 MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ

Hlavním čistícím stupněm kořenových čistíren jsou již zmiňovaná filtrační pole, nicméně tato pole by nemohla správně a spolehlivě fungovat bez objektů mechanického předčištění. Stupeň mechanického předčištění lze považovat za stejně důležitý jako samotná filtrační pole, protože bez jeho vhodného návrhu a požadované údržby dochází ke snížení účinnosti a životnosti celé čistírny (Křiška, 2015).

Kořenová čistírna může být napojena jak na oddílnou (splaškovou), tak na jednotnou kanalizaci. Jednotná kanalizace zajišťuje kromě svedení splašků i zachycení srážkových vod, a proto se použití jednotlivých objektů mechanického předčištění může mírně lišit v závislosti na typu kanalizace v obci. V případě jednotné kanalizace bývá součástí předčištění navíc odlehčovací komora, případně dešťová nádrž (u oddílné kanalizace není potřeba – svedeny pouze splašky). Vzhledem k množství

unášených plovoucích nečistot odpadní vodou jako jeden z prvních objektů bývají řazeny česle. Ty mohou být provedeny v sestavě s horizontálním lapákem písku. Pokud tomu tak není, tak se lapák písku zařadí jako samostatný objekt. Uváděné řazení objektů je typické právě pro jednotnou kanalizaci, kdy odpadní voda obsahuje velké množství hrubých nečistot a nerozpuštěných látek. Součástí každého předčištění ovšem bývá usazovací nádrž, případně septik (Vymazal, 2016). Vzorové schéma kořenové čistírny představuje obr. 1.



Obr. 3 Typické schéma kořenové čistírny (jednotná kanalizace): odlehčovací komora (OK), hrubé česle (HČ), lapák písku (LP), horizontální (HKF) a vertikální (VKF) kořenové filtry.

3.2.1 Odlehčovací komora

Odlehčovací komory se zařazují na linku čistírny v případě, že odpadní vody na čistírnu přivádí jednotná kanalizace. V tomto případě bývá množství přitékající vody nárazově ovlivněno dešťovými srážkami, přičemž je nutné zajistit dodržení maximálních průtoků, na které jsou dimenzovány navazující objekty jako usazovací nádrž (septik) a kořenové filtry (Vymazal, 2016). Překročení maximálního povoleného průtoku má často za následek vyplavení usazených nerozpuštěných látek (NL) z usazovací nádrže (septiku). Akumulované látky jsou následně vyplavovány na plochu kořenových filtrů, kde způsobují ucpávání jemného filtračního materiálu (nejčastěji kameniva). Ucpaný filtr následně vykazuje nízkou hydraulickou vodivost a snižuje se jeho celková účinnost (Křiška, 2015).

Správný návrh odlehčovací komory je pro udržitelný provoz čistírny stěžejní. Jak uvádí (Křiška, 2015), důležitý návrhový parametr odlehčovací komory tvoří hodnota Q_{\max} , která představuje maximální možný průtok, který nezpůsobí vyplavení kalu z usazovací nádrže. Hodnotu Q_{\max} je současně nutné porovnat s maximálním možným průtokem, který lze přivádět na kořenový filtr, zvláště potom vertikální.

Nejčastěji používaným typem odlehčovacích komor jsou komory přepadové. Tyto komory mohou být vytvořeny s přelivem šikmým, přímým nebo bočním. Boční přeliv lze provést jako jednostranný nebo oboustranný. Voda, která přepadá přes přelivnou hranu, bývá následně zaústěna do recipientu nebo dešťové nádrže. Pokud je použita varianta s dešťovou nádrží, potom bývá akumulovaná dešťová voda přiváděna zpět na linku čistírny. Přečerpání odpadní vody probíhá zpravidla v nočních hodinách, kdy je přítok odpadní vody nejnižší (Vymazal, 2016).



Obr. 4 Odlehčovací komora s bočním přelivem oboustranným (Kriška, 2015)

3.2.2 Dešťová nádrž

Jak je uvedeno výše, dešťová nádrž (obr. 5) není nezbytnou součástí kořenové čistírny a v zásadě neovlivňuje ani její provoz. Nicméně (ČSN 75 6261) uvádí případy, kdy je nutné dešťovou nádrž navrhnout. Jedním z bodů je situace, kdy je čistírna napojena na jednotnou kanalizaci a dešťový průtok je větší než průtok, který je čistírna schopna pojmout. Zmiňovaná situace nastává jak u většiny aktivačních čistíren, tak ale i u čistíren kořenových.

Účelem dešťových nádrží, který uvádí (ČSN 75 6261), má být:

- snížení přiváděného znečištění do vodního toku v závislosti na využití procesu sedimentace,
- zachycení dešťového průtoku a následné vyrovnání odtoku na čistírnu,
- zachycení přívalové vlny dešťové vody a její následné rovnoměrné vypouštění do recipientu.



Obr. 5 Dešťová nádrž v obci Machová

Návrh záchytné dešťové nádrže vychází z rovnice 3.1, ze které se určí potřebný objem.

$$V = \gamma \cdot V_s \cdot S_r \quad (3.1)$$

- kde V objem záchytné nádrže [m^3],
 V_s specifický objem záchytné nádrže [m^3/ha], určený z obrázku 2 (ČSN 75 6261) podle hodnoty q_0 v $\text{l/s}\cdot\text{ha}$ (specifický odtok z nádrže na čistírnu po dobu trvání deště) vypočtené z podílu $q_0 = \frac{Q_0}{S_r}$ (Q_0 odtok z nádrže na čistírnu v l/s),
 γ opravný součinitel [-], určený z tabulky 1 příslušné normy podle doby dotoku vody stokovou sítí,
 S_r redukovaná plocha povodí [ha], vypočtená jako součin skutečné plochy povodí (S) a průměrného součinitele odtoku povodí (φ)
 $S_r = S \cdot \varphi$.

Pro případy překročení navrženého objemu musí být dešťová nádrž doplněna bezpečnostním přepadem, který je zaústěn do recipientu (ČSN 75 6261).

3.2.3 Česle

Česle slouží k zachycení nejhrubších nečistot, které jsou unášeny odpadní vodou. Jejich hlavní funkcí je ochrana následujících objektů (převážně čerpadel) před ucpáním nebo poškozením (Hlavínek, 1996).

Základ konstrukce česlí tvoří ocelové pruty (česlice), které jsou umístěny v předem určených rozestupech. Mezery mezi česlicemi jsou označovány jako průliny, jejichž velikost určuje množství zachyceného materiálu (Vymazal, 2016). Česle můžeme rozdělit podle světlosti mezi česlicemi na:

- hrubé česle (světlost 60–120 mm),
- jemné česle (světlost do 60 mm) (Hlavínek, 1996).

Podle způsobu odstranění zachycených nečistot na:

- ručně stírané,
- strojně stírané (Hlavínek, 1996).

Vzhledem k faktu, že většina kořenových čistíren je v České republice navržena pro méně než 1000 EO, uplatňují se především hrubé ručně stírané česle (obr. 6) (Vymazal, 2016). Návrhové parametry česlí ukládá (ČSN 75 6401) nebo (ČSN 75 6402) v závislosti na velikosti řešené čistírny. Ze základních návrhových parametrů lze uvést maximální rychlost proudění vody ve žlabu s česlemi 1,0 m/s, aby nedocházelo k odtrhávání zachycených nečistot. Rychlost proudění vody zároveň nesmí klesnout na hodnotu, která by umožňovala sedimentaci nerozpuštěných látek v prostoru česlí. Ručně stírané česle se osazují ve sklonu přibližně 45° vůči dnu žlabu, přičemž je nutné zajistit dostatečný prostor k tomu, aby česle mohly být mechanicky stírány po celé svojí ploše (ČSN 75 6401).



Obr. 6 Ručně stírané česle v sestavě s lapákem písku v obci Machová

Samotný návrh česlí vychází z velikosti mezer mezi česlicemi, rozměrů a tvaru přírodního kanálu (většinou obdélníkový), ztráty tlakové výšky na česlích, maximální a minimální rychlosti a předpokládaném objemu shrabků (Hlavínek, 1996).

Zachycené shrabky musí být pravidelně ručně odstraňovány, aby nedocházelo k zanášení česlí a následnému vzdouvání vody. Z důvodu uložení sejmutých shrabků bývá na čistírně vymezen prostor nebo přistaven kontejner, ve kterém jsou shrabky dočasně uskladněny. Uložené shrabky z česlí se mohou následně likvidovat spalováním, kompostováním nebo skládkovat pro další využití (Vymazal, 2016).

3.2.4 Lapák písku

Funkce lapáku písku spočívá v separaci anorganických látek (písek drobné kamenivo, úlomky skla) z přitékající odpadní vody (Hlavínek, 1996). Největší množství později separovaných látek je do kanalizace vnášeno za dešťového průtoku, protože dešťová voda obsahuje smyvy např. komunikací, parkovacích ploch a ostatních povrchů. Množství obsaženého písku v městských odpadních vodách se udává jako hodnota 5-12 litrů písku na obyvatele za rok. Uváděná hodnota může být v období deště až dvacetinásobně překročena (Vymazal, 2016).

Princip separace písku a jiných obdobných látek z odpadní vody spočívá v rozdílné schopnosti sedimentace anorganických a organických nerozpuštěných látek. Zrna písku mají obecně vyšší hmotnost než organické částice, a proto ke dnu klesají rychleji. Doba zdržení v lapáku písku je tedy výrazně nižší než v usazovací nádrži, díky čemuž dochází z velké většiny k usazení pouze anorganických látek (Hlavínek, 2003).

Lapáky písku můžeme rozdělit podle směru průtoku vody na:

- horizontální,
- vertikální,
- vírové,
- odstředivé,
- s příčnou cirkulací (Hlavínek, 1996).

Na kořenových čistírnách se nejčastěji využívají horizontální lapáky písku se žlabovým či šterbinovým provedením. Horizontální lapáky zajišťují průběh sedimentace po délce průtočného prostoru, kdy zrna písku s rostoucí uraženou vzdáleností klesají a propadávají do akumulárního prostoru. Usazený písek z akumulárního prostoru je nutné pravidelně odebírat, především v době přívalových srážek, kdy jeho produkce výrazně vzrůstá (Vymazal, 2016).

Návrh lapáku písku upravují stejně jako návrh česlí státní normy (ČSN 75 6401) a (ČSN 75 6402). Uváděné normy stanovují maximální velikost nezachycených zrn 0,2 mm, všechna větší zrna musí být usazena. Rychlost proudění vody v horizontálním lapáku by měla být do 0,30 m/s se střední dobou zdržení min. 30 s. Hydraulické zatížení hladiny nemá překročit hodnotu $16 \text{ m}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$. Velikost

akumulačního prostoru je následně stanovena tak, aby umožňovala akumulaci produkce písku za 10 až 15 dnů (ČSN 75 6402).

Při dimenzování nového lapáku písku se vychází z hodnot maximálních průtoků, hydraulických parametrů přítokového žlabu (sklon, výška hladiny, šířka), počtu EO a druhu stokové sítě (Hlavínek, 1996).

3.2.5 Usazovací nádrž

Usazovací nádrž podobně jako předešlý lapák písku využívá při separaci znečištění proces sedimentace. Ovšem v případě usazovací nádrže dochází k usazování jemných nerozpuštěných látek (Hlavínek, 1996). Jemné organické a anorganické látky mají menší schopnost sedimentace oproti látkám, jejichž separace probíhá v lapáku písku. Proto se usazovací nádrž oproti lapáku písku navrhuje s vyšší dobou zdržení. Usazovací nádrže se obvykle předřazují kořenovým filtrům, z důvodu zamezení jejich ucpávání nerozpuštěnými látkami (Vymazal, 2016). Sedimentační nádrž zároveň produkuje určité množství primárního kalu. Jako primární kal se označují nerozpuštěné látky, které byly separovány objektem usazovací nádrže. Pro zajištění udržitelného provozu a navrhované účinnosti nádrže je nutné primární kal pravidelně odebírat (ČSN 75 6402).

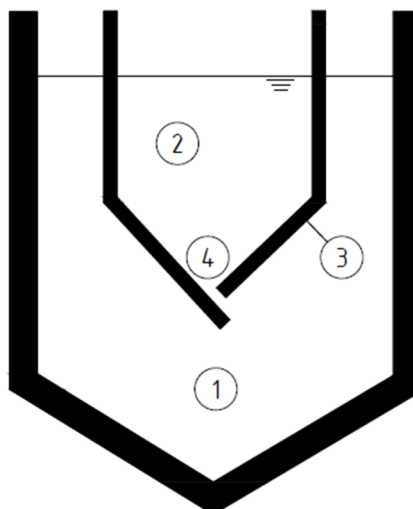
Členění usazovacích nádrží dle průtoku vody:

- horizontální,
- vertikální,
- radiální (Hlavínek, 1996).

U kořenových čistíren se nejčastěji setkáme se štěrbínovou usazovací nádrží, kterou odpadní voda protéká horizontálně. Štěrbínová nádrž představuje hlubokou nádrž, která je rozdělena šikmými nornými stěnami na usazovací a vyhnívací prostor. Norné stěny nejsou vzájemně propojeny, nýbrž je zde vynechán prostor pro propad usazeného kalu tzv. štěrbina (viz obr. 7) (Vymazal, 2016). Štěrbínové nádrže se obvykle používají pro čistírny o velikosti do 5000 EO, přičemž v ČR v současnosti neexistuje taková kořenová čistírna, která by svou velikostí uváděnou hodnotu překročila (Vymazal, 2016; Hlavínek, 1996).

Návrhové parametry štěrbínových nádrží udává (ČSN 75 6402), která stanovuje minimální sklony šikmých stěn usazovacího prostoru na 1,4:1, minimální šířku štěrbiny 0,12 m a přesah šikmých stěn min. 0,1 m. Doporučený poměr šířky vůči délce nádrže je 1:5 se sklonem dna kalového prostoru 1:2,7 směrem ke kalovému potrubí (slouží k odběru nahromaděného kalu ze dna nádrže). Mezi samotným usazovacím a vyhnívacím prostorem je nutné vytvořit bezpečnostní pásmo výšky alespoň 0,45 m, do kterého nesmí zasahovat maximální objem akumulovaného

kalu. Pro stanovení objemu nádrže lze využít normou stanovenou hodnotu specifického objemu 150 l na 1 EO (ČSN 75 6402).



Obr. 7 Schéma štěrbinové usazovací nádrže: vyhnívací prostor (1), usazovací prostor (2), šikmé norné stěny (3), štěrbina (4).

Samostatný výpočet objemu usazovacích prostor vychází z tabulky 4 (ČSN 75 6402), které udává střední dobu zdržení a hydraulické zatížení hladiny v závislosti na maximálním denním průtoku Q_d a maximální hodnotě přítoku vody Q_{max} .

Tab. 3.1 Hodnoty teoretické střední doby zdržení a hydraulického zatížení plochy v usazovacím prostoru štěrbinové nádrže (ČSN 75 6402)

Zařazení štěrbinové nádrže	Střední doba zdržení v h při průtoku		Hydraulické zatížení plochy hladiny v_z v $m^3/(m^2 \cdot h)$ při průtoku	
	vyp. Q_d	Q_{max}	vyp. Q_d	Q_{max}
- před biofiltry	2,0 až 4,0	1,0	0,7 až 1,4	2,0
- před aktivací	1,0 až 3,0	0,5	1,0 až 2,4	4,0
- před vegetační čistírnou s horizontálním podpovrchovým průtokem	4,0 až 6,0	2,0	0,3 až 0,7	1,0

Pro správnou funkci usazovací nádrže je nezbytný odpovídající návrh odlehčovací komory, který zajistí dodržení maximálních přípustných průtoků, čímž zamezí následnému vymílání akumulovaného kalu (Křiška, 2015). Vyklízení usazeného kalu, který je ve vyhnívacích prostorech anaerobně stabilizován, se předpokládá dvakrát ročně (Vymazal, 2016). Ze zpracované studie (Rozkošný, 2015) vyplývá, že většina kalů z usazovacích nádrží primárního předčištění splňuje svým složením podmínky

vyhlášky č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, a je tedy potenciálně využitelná pro zemědělské účely.

Celková účinnost usazovacích nádrží se pohybuje v rozmezí 10 až 30 % pro parametr CHSK a 30 až 60 % pro nerozpuštěné látky (ČSN 75 6402).

3.2.6 Septik

Alternativu k usazovacím nádržím mohou představovat septiky. Ty využívají obdobné principy jako sedimentační nádrže - usazení nerozpuštěných látek, které jsou následně akumulovány a podléhají anaerobnímu rozkladu (Křiška, 2015).

V současné době se používají výhradně tzv. vícekomorové septiky, přičemž (ČSN 75 6402) uvádí jako obvyklý počet komor septiku komory tři. Vícekomorové septiky mají oproti běžným septikům vnitřní prostor rozdělen na několik vzájemně propojených dílčích prostor (komor) (Křiška, 2015). Komory jsou mezi sebou odděleny nornými stěnami, které zabraňují volnému pohybu plovoucího kalu v septiku. Pro zvýšení účinnosti septiků je možné oddělit jednotlivé komory pomocí přepážek s otvory, a tak zajistit průtok vody vrstvou vyhnívajícího kalu na dně septiku (Vymazal, 2016).

Návrh septiku vychází z (ČSN 75 6402), která udává jako obvyklý počet komor komory tři. Výpočet objemu takového septiku se provede podle rovnice 3.2.

$$V = a \cdot n \cdot q \cdot t \quad (3.2)$$

kde	V	účinný objem septiku [m ³],
	a	součinitel vyjadřující kalový prostor (obvykle hodnota 1,5),
	n	počet připojených obyvatel,
	q	specifická potřeba vody [m ³ /den·obyv.],
	t	střední doba zdržení [dny] (doporučená hodnota 5 dní).

Účinný objem septiku v sobě již zahrnuje objem kalového prostoru, který do výpočtu vstupuje jako součinitel a (1,5). Hodnota 1,5 udává navýšení objemu septiku o 50 % (norma umožňuje uvažovat s navýšením i 60 %). Celkový účinný objem však nesmí být menší než 3 m³ (ČSN 75 6402).

Dále norma stanovuje umístění norných stěn, které musí zasahovat minimálně 15 cm nad hladinu a 30 cm pod hladinu vody v septiku. Pokud se využije přepážek s otvory na oddělení jednotlivých komor, tak vytvořené otvory musí mít horní hranu min. 30 cm pod hladinou nebo min. 40 cm nade dnem. Přístup do septiku se zajišťuje otvorem minimálního průměru 60 cm (čtvercový 60x60 cm), který je zakryt poklopem (ČSN 75 6402).

Vyčerpat akumulovaný kal ze dna septiku je doporučeno minimálně jednou ročně nebo pokud množství kalu dosáhne 1/3 účinné výšky (Vymazal, 2016).

Účinnost septiků je podle (ČSN 75 6402) ve většině ukazatelích srovnatelná s účinnostmi usazovacích nádrží. Nicméně (Křiška, 2015) uvádí, že pomocí septiků je možné dosáhnout účinnost až 65 % při odstranění $CHSK_{Cr}$ a 72 % pro nerozpuštěné látky. Takovýto septik by tedy svojí účinností usazovací nádrž výrazně předčil.

3.3 HORIZONTÁLNÍ KOŘENOVÉ FILTRY

Horizontální filtry představují hlavní čistící stupeň čistírny, který navazuje na mechanický stupeň předčištění. Konstrukčně se v podstatě jedná o mělkou nádrž hloubky 0,6 – 0,8 m, která je vyplněna substrátem (nejčastěji kamenivem) (Vymazal, 2016). Název filtru je odvozen od horizontálního směru proudění odpadní vody přes filtrační materiál (Křiška, 2015). Odpadní voda protéká pod povrchem filtru, kde zároveň vytváří stálou hladinu. Jelikož je filtrační prostředí po celou dobu provozu zatopeno a množství vyskytujícího se kyslíku je téměř nulové, vzniká ve filtru anaerobní prostředí. Anaerobní prostředí doprovází řada biochemických procesů, které nedostatek kyslíku vyžadují pro svůj průběh. Typickými procesy probíhajícími v horizontálních filtrech jsou anaerobní rozklad, denitrifikace, amonifikace apod. (Saeed, 2012). Zmiňované procesy podrobně popisují kapitoly 3.6 a 3.7. Probíhající procesy je možné ovlivnit pomocí mechanického provzdušňování či přechodem na pulzní vypouštění, čímž dojde k provzdušnění prostředí filtru. Aerobní prostředí však nelze zajistit pouze přestupem kyslíku z kořenů mokřadních rostlin (Liu, 2016).

3.3.1 Návrh horizontálního filtru

Při návrhu kořenového filtru je nutné vycházet z předpokladu, že před samotným filtračním polem je předřazeno mechanické předčištění. Usazovací nádrž nebo septik zajistí odbourání převážně nerozpuštěných látek, ale také snížení koncentrací ukazatelů jako $CHSK$ a BSK_5 podle účinnosti daného objektu. Účinnost zmiňovaných objektů mechanického předčištění lze nalézt v (ČSN 75 6402). Návrh plochy filtračního pole vychází ze snížené koncentrace ukazatele BSK_5 na přítoku (o účinnost mechanického předčištění) podle rovnice 3.3 (Vymazal, 2016).

$$A_h = \frac{Q_d (Inc_o - Inc_p)}{k_{BSK} \cdot n \cdot h} \quad (3.3)$$

kde A_h plocha filtračního pole [m^2],

Q_d průměrný denní přítok vody [m^3/d],

c_p koncentrace znečištění BSK_5 na přítoku filtru [mg/l],

c_o koncentrace znečištění BSK_5 na odtoku z filtru [mg/l],

- k_{BSK} rychlostní konstanta úbytku znečištění BSK_5 [m/d] (doporučená hodnota 0,10 m/d).
- n pórovitost filtračního materiálu [-],
- h hloubka filtru [m].

Takto vypočtená plocha horizontálního filtru zajišťuje účinné odstranění znečištění BSK_5 , na které je navržena, nikoli však odbourání amoniakálního dusíku. Pokud bychom se zaměřili na účinné odstranění $N-NH_4^+$ pouze za využití přirozených procesů horizontálního filtru (bez dodatečné aerace či pulzního vypuštění), potom by bylo nutné uvažovat hodnotu konstanty $k_{BSK} = 0,025$ m/d. Snížením hodnoty konstanty k_{BSK} však dojde k razantnímu nárůstu potřebné plochy filtru z $5 \text{ m}^2/\text{EO}$ až na $25 \text{ m}^2/\text{EO}$ (Křiška, 2015).

Pro vypočítanou plochu filtru je vhodné následně posoudit maximální organické a hydraulické zatížení. Pro návrh horizontálních filtrů ve Španělsku využívají hodnotu maximálního **organického zatížení** $6 \text{ g } BSK_5/\text{m}^2 \cdot \text{den}$ a v USA $4\text{-}8 \text{ g } BSK_5/\text{m}^2 \cdot \text{den}$ (Dotro, 2017). V níže uvedených rovnicích jsou specifické veličiny nazvány zkratkami z angličtiny, protože v české literatuře se běžně nevyskytují – např. OLR (organic loading rate), HLR (hydraulic loading rate), HRT (hydraulic retention time). Stanovení zatížení plochy filtru organickým znečištěním lze vypočítat z rovnice 3.4.

$$OLR = \frac{S_o}{A_h} \quad (3.4)$$

kde OLR organické zatížení filtru [$\text{g } BSK_5/\text{m}^2 \cdot \text{den}$],

S_o vstupní množství znečištění BSK_5 [g/den],

A_h plocha horizontálního filtru [m^2].

Maximální hodnota **hydraulického zatížení** pro horizontální filtry není v České republice stanovena. V zahraničí je tato hodnota odvozena od zrnitosti použitého kameniva. V USA je hodnota hydraulického zatížení uvažována $20\text{-}40 \text{ mm}/\text{d}$ při zrnitosti materiálu $>4 \text{ mm}$. Ve Velké Británii se pro návrh používá hodnota $200 \text{ mm}/\text{d}$ pro zrnitost $10\text{-}12 \text{ mm}$ (Dotro, 2017). Hydraulické zatížení lze určit podle rovnice 3.5.

$$HLR = \frac{Q_d}{A_h} \quad (3.5)$$

kde HLR hydraulické zatížení plochy filtru [$\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{den}$],

Q_d průměrný denní průtok [m^3/den],

A_h plocha horizontálního filtru [m^2].

Pro orientační výpočet doby zdržení je možné využít rovnici 3.6, která vychází z pórovitosti použitého substrátu, plochy filtru a průtoku (Dotro, 2017). Návrhová doba zdržení se v České republice neudává. (Saeed, 2012) uvádí, že delší doba zdržení (2-10 dnů) zvyšuje účinnost filtru při odstranění dusíku z odpadní vody.

$$HRT = \frac{\varepsilon \cdot h \cdot A}{Q_d} \quad (3.6)$$

kde HRT teoretická doba zdržení [dny],

ε pórovitost použitého filtračního materiálu [-],

h hloubka filtru [m],

A plocha filtračního pole [m²],

Q_d průměrný denní průtok [m³/den].

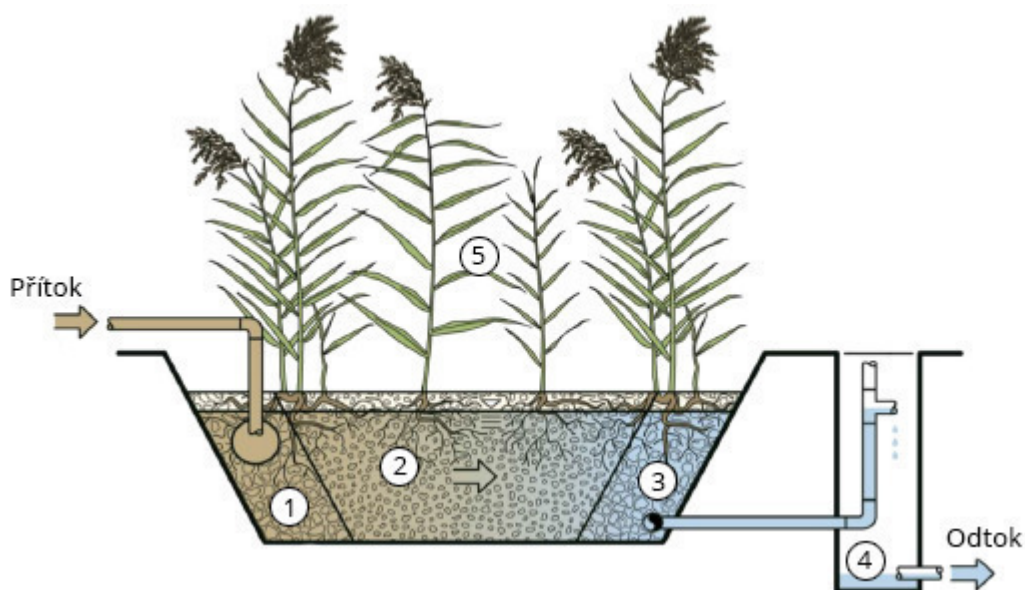
Z výše uvedených výpočtů je možné určit potřebnou plochu filtru. Stanovení samotných rozměrů filtru ovšem závisí na délce nátokové hrany, jejíž velikost se pohybuje v rozmezí 0,20-0,40 m/EO, přičemž maximální délka by neměla překročit 30 metrů. Účelem předchozích podmínek je zajistit dostatečnou šířku nátokové hrany filtru tak, aby bylo zabráněno lokálnímu přetížení a zároveň došlo k eliminaci zkratových proudů. Navržené horizontální filtry podle předchozích zásad se tedy vyznačují převažující šířkou filtru nad jeho délkou (Vymazal, 2016).

3.3.2 Konstrukční provedení

Základní části horizontálního filtru tvoří:

- filtrační pole,
- potrubní rozvody,
- vegetace.

Konstrukci filtru obvykle představuje mělký výkop, který je vyplněn filtračním materiálem s potrubními rozvody. Povrch filtru je často kryt mokřadní vegetací, která tvoří pohledovou část filtračního pole. Všechny části horizontálního filtru mají vliv na probíhající procesy, které se podílí na odstranění znečištění, čímž zároveň ovlivňují celkovou účinnost čistírny (Vymazal, 2016). Typické chemické procesy pro prostředí horizontálních filtrů uvádí kapitoly 3.6 a 3.7. Konstrukční uspořádání filtru je patrné z obr. 8.



Obr. 8 Typické konstrukční řešení horizontálního kořenového filtru: rozvodná zóna (1), hlavní filtrační část (2), sběrná zóna (3), sběrná šachta (4), vegetace (5) (Dotro, 2017).

Filtrační pole

V České republice se jako filtrační materiál používá výhradně kamenivo o různých frakcích. Vhodné je ovšem zmínit, že zahraniční studie uvádí použití alternativních substrátů jako zeolit, struska nebo různé organické materiály (Saeed, 2012). Pokud se tedy zaměříme výhradně na využití kameniva jako filtračního materiálu, potom se nejdůležitějším návrhovým parametrem stává zrnitost. Lze říci, že čím je menší zrnitost použitého materiálu, tím vyšší lze očekávat jeho účinnost při odstranění znečištění (Křiška, 2015). Z předešlého tvrzení by mohlo vyplynout, že nejvhodnější je tedy zrnitost co možná nejmenší. Nutné je ovšem také uvažovat se situací, že i přes správně navržené a provozované mechanické předčištění se spolu s odpadní vodou na filtr dostane malá část drobných nerozpuštěných látek. Nerozpuštěné látky s postupem času zapříčiní postupné ucpávání pórů mezi zrnky substrátu, toto ucpání filtračního materiálu se označuje jako kolmatace filtračního materiálu. Kolmatace následně způsobuje snižování celkové účinnosti filtru (Vymazal, 2016), (Křiška, 2015).

Hloubka filtračního pole u horizontálních filtrů se obvykle pohybuje v rozmezí 0,6 až 0,8 m. Uváděná hodnota byla odvozena z předpokladu, že do této hloubky jsou schopny proniknout kořeny mokřadní vegetace, které by zajistily dostatečný přívod kyslíku (vytvořit aerobní prostředí) (Vymazal, 2016). Postupem času se ovšem ukázalo, že množství kyslíku přivedeno kořeny rostlin je nedostatečné a okysličené zóny se nachází pouze v bezprostřední blízkosti kořenů rostlin tzv. rhizosféře (Liu, 2016).

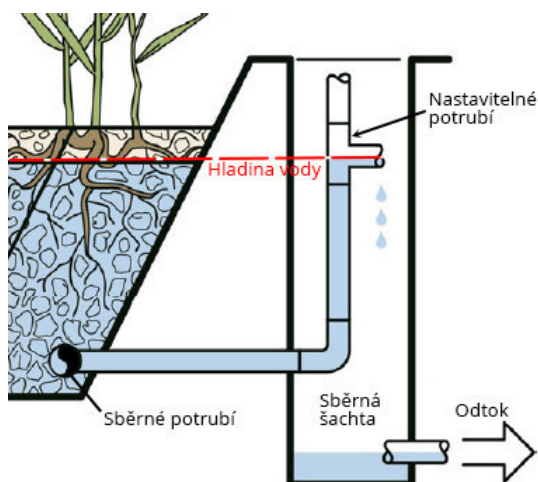
(ČSN 75 6402) v závislosti na výše zmiňovaných kritériích (hydraulická vodivost a filtrační schopnost materiálu) uvádí jako vhodný filtrační materiál drcené kamenivo frakce 4/8 mm. Pro předejití prvotní kolmatace je vhodné použít prané písky a štěrky, které jsou zbaveny prachových částic. V okolí rozdělovacího a sběrného potrubí (50-200 mm) je vhodné vytvořit zóny z kameniva frakce 8/16 (16/32) mm, čímž dojde k lepšímu rozvedení odpadní vody po celé šířce filtru.

Dno filtračního pole je nutné opatřit hydroizolací (nejčastěji z PVC, PE), čímž se zabrání průsaku odpadních vod do podloží. Hydroizolaci je vhodné chránit proti poškození geotextílií. Hydroizolaci lze vynechat v případě, že podloží je tvořeno málo propustným materiálem (jíly s hydraulickou vodivostí $<10^{-8}$ m/s) (Vymazal, 2016).

Potrubní rozvody

Přívod odpadní vody na filtr zajišťuje rozdělovací potrubí, které bývá často vytvořeno jako plastová trouba s několika otvory. Existuje několik možností, jak rozdělovací potrubí umístit. Rozdělovací potrubí může být umístěno na povrchu filtru, pod povrchem nebo může být použita kombinace obou variant (Vymazal, 2016). Za vhodnou lze považovat variantu umístění potrubí na povrchu, čímž se zamezí jeho prorůstání kořeny rostlin (Křiška, 2015).

Na konci filtru přečištěnou odpadní vodu zachytává sběrné potrubí. V praxi se jedná o obdobné děrované potrubí jako na přítoku s tím rozdílem, že sběrné potrubí je uloženo vždy na dně filtru. Toto potrubí se ve sběrné šachtě napojuje na mechanismus, s jehož pomocí lze korigovat výšku hladiny vody ve filtru. Vypouštěcí mechanismus tvoří nastavitelná svislá trubka, přičemž výška hladiny v ní představuje výšku hladiny vody ve filtru (princip spojených nádob) (Vymazal, 2016). Hladina vody ve filtru se obvykle udržuje 10 cm pod povrchem z důvodu zamezení šíření zápachu (Křiška, 2015). Celý systém je schematicky znázorněna na obrázku 9.



Obr. 9 Detail sběrné šachty za horizontálním filtrem (Dotro, 2017)

Vegetace

V minulosti se předpokládalo, že vegetace může zajistit aerobní podmínky v horizontálním filtru, toto tvrzení bylo ovšem později vyvráceno. Dnešní role mokřadní vegetace je tedy převážně estetická s malým dopadem na čistící procesy (Vymazal, 2016). Pro zajištění vhodného prostředí k růstu rostlin doporučuje (ČSN 75 6402) vytvořit na ploše filtru vrstvu 10 cm z říčního štěrku nebo tříděného praného písku frakce 4/8 mm, do které jsou rostliny následně zasazeny. V Česku nejpoužívanější rostliny představují rákos obecný (*Phragmites australis*) a chřastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*), které se používají s hustotou výsadby 4 rostlin na 1 m² pro rákos a 10 rostlin na 1 m² pro chřastici (Vymazal, 2016).

3.3.3 Účinnost horizontálního kořenového filtru

Jak vyplývá z kapitoly zabývající se návrhem, horizontální filtr nemá problém s odstraněním znečištění BSK₅, protože na jeho odstranění je navržen. Problém nenastává ani při zachycení nerozpuštěných látek či redukci CHSK (Křiška, 2015). Všechny tyto látky jsou totiž dobře rozložitelné jak v aerobním, tak i v anaerobním prostředí. Na rozložení organických látek se v prostředí horizontálního filtru nejvíce podílí procesy anaerobní degradace (Saeed, 2012).

Nicméně jako problematickou lze označit účinnost odstranění N-NH₄⁺, a to z toho důvodu, že nejvýznamnějším procesem podílejícím se na jeho přeměně na dusičnany je proces nitrifikace (viz kapitola 3.7). Při nitrifikaci probíhá oxidace amoniakálního dusíku, která ovšem z důvodu nedostatku kyslíku nemůže nastat v anaerobním prostředí horizontálního filtru (Vymazal, 2018). Celkové účinnosti pro jednotlivé ukazatele znečištění jsou uvedeny v tabulce 3.2.

Tab. 3.2 Účinnost horizontálních kořenových filtrů v % dle (ČSN 75 6402) a (Dotro, 2017)

	BSK ₅	CHSK	NL	N-NH ₄ ⁺	N _{celk.}	P _{celk}
ČSN 75 6402	40-95	50-90	65-95	5-60	-	5-25
(Dotro, 2017)	> 80	> 80	> 80	20-30	30-50	10-20

Pro zajištění vyšších účinností při odstranění N-NH₄⁺ by bylo nutné upravit provozní podmínky filtru. Jednou z možností je doplnění systému o systém mechanické aerace, přičemž je na dno filtru položen další systém potrubních rozvodů. Těmito rozvody se následně za pomoci dmychadla přivádí vzduch, který prostupuje k povrchu naplněného filtru a zajišťuje oxidační reakce (Liu, 2016). Oproti variantě mechanického provzdušňování je také možné využít systém pulzního vypouštění, který spočívá v dosažení maximální hladiny odpadní vody ve filtru a jejím následném rychlém vypuštění. Při vypuštění vody z filtru se póry mezi částicemi filtračního

materiálu vyplní vzduchem, který může být při následném plnění filtru použit k oxidaci N-NH_4^+ . Množství takto dodaného vzduchu ale není tak velké, aby došlo k odstranění veškerého N-NH_4^+ (Křiška, 2015).

Z důvodu účinného odstranění N-NH_4^+ se jeví jako vhodnější varianta využití vertikálních filtrů, ve kterých je možné při správném návrhu a jejich provozu zajistit dlouhodobě aerobní prostředí. Problematice vertikálního filtru se věnuje následující kapitola.

3.4 VERTIKÁLNÍ KOŘENOVÉ FILTRY

Stěžejní rozdíl mezi vertikálními a horizontálními filtry představuje množství dostupného kyslíku v prostředí filtračního pole, které má za následek průběh odlišných biochemických procesů, které jsou závislé na přístupu kyslíku. Mezi procesy vyžadující okysličené prostředí patří mimo jiné i nitrifikace, která zajišťuje redukci amoniakálního dusíku. Díky výše zmiňovaným skutečnostem se po úpravách legislativy, která začala klást požadavek na odstranění amoniakálního dusíku z odpadních vod, začaly v Evropě upřednostňovat filtry vertikální (Dotro, 2017). Obdobný vývoj používání filtrů s vertikálním průtokem lze pozorovat i v České republice. Většina současných kořenových čistíren využívá pouze horizontálních filtrů, s jejichž pomocí není možné dosáhnout požadovaných výstupních koncentrací právě pro ukazatel N-NH_4^+ (Křiška, 2015). Použití vertikálních filtrů se tedy jeví jako vhodná alternativa, jejíž aplikace může vést k účinnému odstraňování N-NH_4^+ a tím pádem k dodržení limitních hodnot tohoto znečištění na odtoku.

Vertikální filtr stejně jako horizontální využívá obdobných fyzikálních procesů, kterými jsou filtrace a sedimentace. Avšak liší se probíhajícími biochemickými procesy v závislosti na aerobním prostředí (viz kapitoly 3.6 a 3.7).

3.4.1 Návrhové parametry

K návrhu vertikálního filtru je možné přistoupit obdobně jako k návrhu filtru horizontálního, opět je nejdříve nutné stanovit požadovanou plochu filtru, která se následně posoudí na maximální hydraulické zatížení. Při výpočtu lze vycházet z (ČSN 75 6402), která stanovuje jako základní parametr pro určení požadované plochy účinnost filtru při odstranění znečištění CHSK. Pokud tedy víme, že účinnost filtru lze uvažovat jako $15\text{--}20 \text{ g}_{\text{CHSK}}/\text{m}^2$ za den (v Dánsku používají účinnost až $27 \text{ g}_{\text{CHSK}}/\text{m}^2$ za den (Dotro, 2017)), potom je možné dopočítat celkovou potřebnou plochu z rovnice 3.7.

$$A_v = \frac{S_{CHSK}}{E_{CHSK}} \quad (3.7)$$

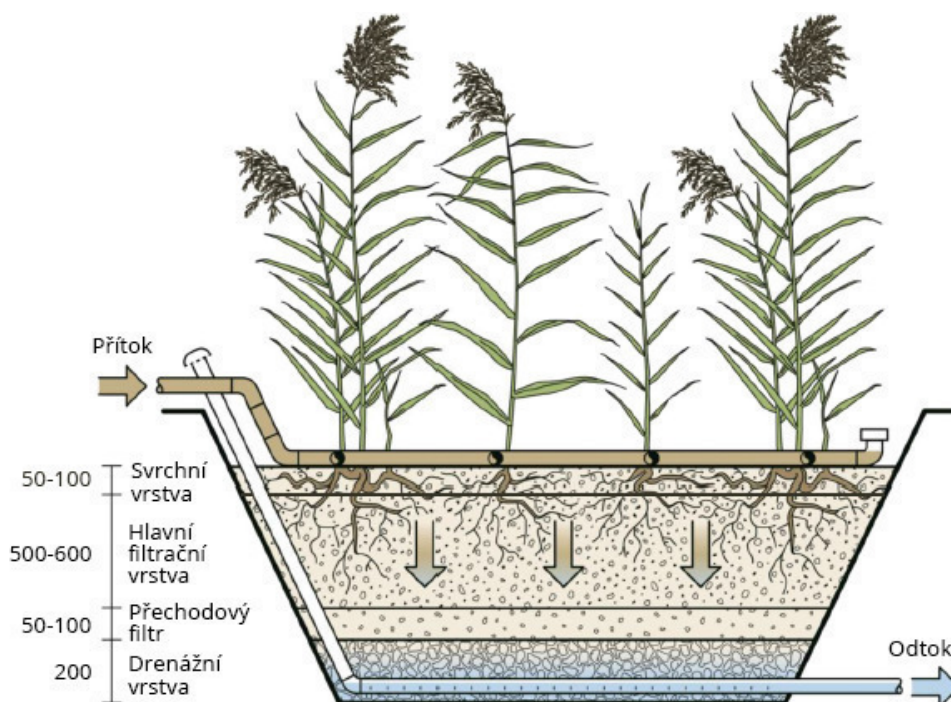
- kde A_v požadovaná plocha vertikálního filtru [m^2],
 S_{CHSK} množství znečištění CHSK na přítoku (sníženo o účinnost mech. předčištění) [g/den],
 E_{CHSK} předpokládaná účinnost filtru v ukazateli CHSK (z ČSN 75 6402) [g/ m^2 za den].

Při použití rovnice 3.7 se průměrná velikost filtračního pole pohybuje v rozmezí 1-4 m^2 /EO v závislosti na složení přitékající odpadní vody a zařazení filtru v provozní lince (ČSN 75 6402).

Normou udávané hydraulické zatížení by nemělo překročit hodnotu 0,15 m/den, což odpovídá přítoku maximálně 150 l odpadní vody na 1 m^2 za den (ČSN 75 6402). Hydraulické zatížení lze stanovit obdobně jako pro horizontální filtr z rovnice 3.5.

Vzhledem k rozdělení odpadní vody systémem potrubí na povrchu filtru není nutné dodržovat poměr rozměrů, které jsou uváděny u horizontálního filtru.

3.4.2 Konstrukční provedení



Obr. 10 Vertikální filtrační pole s tloušťkou jednotlivých vrstev v mm, schéma převzato od (Dotro, 2017) a doplněno o hodnoty z (ČSN 75 6402)

Filtrační materiál

Vertikální filtrační pole se skládá z několika vrstev materiálů, které se vzájemně liší typem a frakcí použitého kameniva (Vymazal, 2016). Hlavní filtrační vrstvu tvoří velmi jemná frakce drceného štěrku (0/4 mm), která zajišťuje vysokou účinnost filtru, ale zároveň je náchylnější k ucpávání (kolmataci). Důležitým předpokladem pro zajištění udržitelného provozu filtru je minimální obsah nerozpuštěných látek v přitékající vodě, čehož lze dosáhnout předřazením např. horizontálního filtru (ČSN 75 6402).

Z obrázku 10 jsou patrné základní vrstvy vertikálního filtru. Svrchní vrstva vytváří vhodné podmínky pro růst rostlin, v hlavní filtrační vrstvě probíhají mikrobiální procesy s filtrací a sedimentací, přechodový filtr zabraňuje zanášení drenážní vrstvy drobným kamenivem z předchozí vrstvy a drenážní vrstva slouží k zachycení odpadní vody. Včetně výše zmiňovaných vrstev (ČSN 75 6402) umožňuje souvrství doplnit o kompenzační vrstvu, která slouží k vyrovnání nerovnoměrností podkladního povrchu. Vyrovnané dno filtru je nutné krýt hydroizolací (PVC, PE), která zabrání přestupu odpadní vody do podloží. Celková mocnost vrstev se pohybuje od 0,8 do 1,0 m a jejich optimální složení udává tabulka 3.3, která je převzata z (ČSN 75 6402).

Tab. 3.3 Jednotlivé vrstvy vertikálního filtru (ČSN 75 6402)

Vrstva	Materiál	Výška [mm]
Svrchní vrstva	Praný říční štěrk fr. 4/8 (8/16) mm	50-100
Hlavní filtrační vrstva	Praný písek fr. 0/4 mm	500-600
Přechodový filtr	Drcený štěrk fr. 4/8 mm	50-100
Drenážní vrstva	Drcený štěrk 8/16 (16/32) mm	200
Těsnění	Hydroizolace PVC, PE 1,5 mm krytá oboustranně geotextílií	-
Kompenzační vrstva	Písek	0-50

Pro předejití počáteční kolmatace materiálu by mělo být používáno prané kamenivo, které je zbaveno prachových částic (Křiška, 2015).

Potrubní rozvody

Zatímco u horizontálních filtrů byl návrh potrubních rozvodů relativně snadný, potrubní rozvody vertikálních filtrů představují o poznání složitější úkol. Odpadní voda ve většině případů protéká filtrem shora dolů, z čehož vyplývá, že odpadní voda musí být přivedena rovnoměrně na celou plochu filtru. Přívod vody doporučuje (ČSN 75 6402) řešit jako přerušovaný. To znamená, že voda je přiváděna na povrch

filtru pomocí dávek tak, aby bylo zajištěno dostatečné provzdušnění filtru mezi jednotlivými dávkami (Wang, 2017). Dávkování vody lze zajistit při vhodné konfiguraci terénu (dostatečný výškový rozdíl mezi odtokem z předřazeného objektu a přítokem na vertikální filtr) bez připojení elektřiny, v opačném případě je nutné využít čerpadel (ČSN 75 6402).

Pro rozvedení odpadní vody na povrchu filtru rozlišujeme dva druhy potrubí – distribuční a přívodní. Přívodní potrubí má zpravidla větší dimenzi (dle (ČSN 75 6402) DN 80-150 podle počtu připojených EO) a zajišťuje zásobení odpadní vodou jednotlivých větví potrubí rozdělovacího (DN 40-50). Větve rozdělovacího potrubí jsou ve spodní části opatřeny otvory, skrz které vytéká odpadní voda na povrch filtru (Kriška, 2015). Pro návrh samotného potrubí lze využít (ČSN 75 6402), která stanovuje přesné požadavky na rovinnost, max. délku a světlost potrubí tak, aby došlo k rovnoměrnému rozvedení odpadní vody na ploše vertikálního filtru.

Vegetace

Vegetaci vertikálních filtrů představuje obdobně jako u filtrů horizontálních rákos obecný, který plní estetickou funkci a zároveň zajišťuje ochranu potrubních rozvodů na povrchu filtru (Kriška, 2015).

3.4.3 Účinnost vertikálního filtru

Vertikální filtr dosahuje vysoké účinnosti nejen pro znečištění BSK_5 a $CHSK_{Cr}$, ale také pro $N-NH_4^+$ (Kriška, 2015). Na odstranění $N-NH_4^+$ se z největší části podílí proces nitrifikace, který zajišťuje oxidaci amoniakálního dusíku na dusičnanové formy. Z charakteru procesu nitrifikace vyplývá, že vertikální filtr je schopen zajistit odstranění amoniakálního dusíku, ale nikoliv však dusíku celkového. Zajištění redukce dusičnanů má za úkol naopak proces denitrifikace, který vyžaduje striktně anaerobní prostředí. Z předchozích kapitol je zřejmé, že anaerobní prostředí poskytuje pouze filtr horizontální a nikoliv vertikální. Z tohoto důvodu při požadavku na odstranění celkového dusíku je vhodné uvažovat nad zařazením obou filtrů v pořadí vertikální filtr a za ním filtr horizontální (Saeed, 2012; Vymazal, 2007). Předpokládané účinnosti vertikálního filtru jsou shrnuty v tabulce 3.4.

Tab. 3.4 Účinnost vertikálního filtru v % podle (ČSN 75 6402) a (Dotro, 2017)

	BSK_5	$CHSK$	NL	$N-NH_4^+$	$N_{celk.}$	$P_{celk.}$
ČSN 75 6402	75-98	70-97	85-99	50-99	-	5-25
(Dotro, 2017)	> 90	> 90	> 90	> 90	< 20	10-20

3.5 UKAZATELE ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

V předchozích kapitolách jsou uváděny účinnosti jednotlivých filtrů pro ukazatele, s jejichž pomocí se popisuje složení odpadní vody. Následující kapitoly mají za cíl objasnit význam ukazatelů udávajících znečištění. Zároveň v České republice existuje platná legislativa, která upravuje maximální přípustné hodnoty zmiňovaných ukazatelů na odtoku z čistíren odpadních vod.

3.5.1 Biochemická spotřeba kyslíku

Biochemická spotřeba kyslíku (označována jako BSK₅) vyjadřuje množství rozpuštěného kyslíku, který je spotřebován mikroorganismy při biochemickém rozkladu organických látek obsažených ve vodě. Dolní index vyjadřuje počet dní, po který je stanovení spotřeby kyslíku prováděno (Groda, 2007). Znečištění BSK₅ lze označit za snadno rozložitelné organické látky, které se rozloží za již zmiňovaných 5 dnů (Křiška, 2015).

Znečištění označováno jako BSK₅ se dostává do odpadní vody spolu se splašky vypuštěnými z jednotlivých domácností (Křiška, 2015). Právě ukazatel BSK₅ bývá používán pro stanovení počtu ekvivalentních obyvatel (EO), přičemž 1 EO je vyjádřen jako produkce 60 g BSK₅ za den. Těchto 60 g je následně možné rozdělit na 30 g rozpuštěných a 30 g nerozpuštěných látek. Zatímco nerozpuštěné látky lze separovat sedimentací či filtrací, tak odstranění rozpuštěných látek probíhá za pomoci biochemických procesů a mikroorganismů (ČSN 75 6401).

Kořenové čistírny znečištění udávané parametrem BSK₅ odstraňují dobře jak v aerobním (VKF), tak i v anaerobním prostředí (HKF). Jednou z velkých výhod kořenových čistíren (oproti aktivačním čistírnám) je schopnost vyrovnat se i se silně nařazenými odpadními vodami, které obsahují pouze malé koncentrace organického znečištění. Zmiňovaná výhoda je uplatňována především u obcí, které mají jednotnou kanalizaci, v níž jsou splašky z velké části nařazené dešťovou vodou na mnohdy velmi nízké koncentrace (Vymazal, 2016).

3.5.2 Chemická spotřeba kyslíku

Ukazatel označovaný nejčastěji jako CHSK_{Cr} stejně jako BSK₅ vyjadřuje množství dodaného kyslíku, který je spotřebován při oxidaci organických látek. Pro zajištění této oxidace se využívá silné oxidační činidlo, jehož spotřeba je ekvivalentní k množství teoreticky dodaného kyslíku (Groda, 2007). Ukazatel CHSK_{Cr} indikuje přítomnost složitých organických sloučenin jako celulóza či polysacharidy, které díky pomalé oxidaci nemohou být zahrnuty do ukazatele BSK₅ (Křiška, 2015).

Specifická produkce CHSK se udává jako 120 g CHSK za den na 1 obyvatele, z čehož přibližně polovinu tvoří nerozpuštěné látky (ČSN 75 6401). V odpadních vodách lze uvažovat typický poměr BSK/CHSK v rozmezí 0,3-0,8, přičemž vyšší hodnota zmiňovaného poměru indikuje vyšší obsah snadno rozložitelných organických látek (Saeed, 2012). Kořenové čistírny jsou schopny běžně dosahovat účinnosti 85-90 % v ukazateli $CHSK_{Cr}$ (Křiška, 2015).

3.5.3 Nerozpuštěné látky

Nerozpuštěné látky vyjadřují přítomnost pevných částic v odpadní vodě, jejichž množství lze snadno stanovit filtrací (Křiška, 2015). Specifická produkce na 1 obyvatele činí 55 g nerozpuštěných látek za den, z čehož 40 g je dobře usaditelných (ČSN 75 6402). Odstranění usaditelných látek v kořenové čistírně zajišťují procesy sedimentace (mech. předčištění) a filtrace. Nadměrná filtrace v kořenovém poli způsobuje jeho ucpávání, proto je žádoucí sedimentovat maximum NL už na úrovni mechanického předčištění (Vymazal, 2016).

3.5.4 Amoniakální dusík

Amoniakální dusík je součástí veškerých splaškových vod, ve kterých se nachází jako produkt předchozího rozkladu močoviny (Křiška, 2015). $N-NH_4^+$ představuje hlavní složku celkového dusíku, a proto jeho množství na přítoku na čistírnu bývá z velké části shodné s koncentrací celkového dusíku (Vymazal, 2016).

Největší podíl na odstranění $N-NH_4^+$ zastává proces nitrifikace, který pro svůj průběh vyžaduje značné množství kyslíku (Saeed, 2012). Dostatečné množství kyslíku, které postačí pro oxidaci BSK_5 , $CHSK_{Cr}$ i $N-NH_4^+$, je schopný zajistit pouze vertikální kořenový filtr (Němcová, 2016).

3.5.5 Celkový dusík

Celkový dusík představuje ukazatel, který zahrnuje všechny formy dusíku. Z předchozího odstavce vyplývá, že velkou část celkového dusíku ve splaškové vodě tvoří především $N-NH_4^+$. Nicméně v průběhu čištění za přispění procesu nitrifikace se forma dusíku mění z $N-NH_4^+$ na dusičnanové formy (NO_2^- , NO_3^-). Dusičnany jsou následně v procesu denitrifikace redukovány až na plynný dusík N_2 (Dotro, 2017). Specifickou produkci celkového dusíku udává norma (ČSN 75 6402) jako hodnotu 11 g dusíku za den na 1 EO.

Kořenové čistírny jsou schopny zajistit odstranění celkového dusíku pouze v případě, kdy jsou vytvořeny vhodné podmínky pro průběh procesů nitrifikace a následné denitrifikace (Saeed, 2012). Ideální podmínky lze zajistit kombinací vertikálního a horizontálního filtru v uváděném pořadí (Křiška, 2015).

3.5.6 Celkový fosfor

Fosfor se do odpadní vody dostává ve formě fosforečnanů, které jsou vylučovány močí, a polyfosfátů, které bývají součástí pracích prostředků (Groda, 2007). Denní produkce fosforu na 1 EO činí 2,5 g (ČSN 75 6402). Hodnota denní produkce zahrnuje jak metabolické produkty, tak i polyfosfáty (Groda, 2007). Eliminaci fosforu v kořenových čistírnách zajišťují především sorpční schopnosti filtračního materiálu (Vymazal, 2016) a odběr rostlin (Kriška, 2015). Jelikož nejpoužívanější filtrační materiál tvoří kamenivo, které se vyznačuje nízkou sorpční kapacitou, tak i celková redukce fosforu bývá často omezena a pohybuje se v rozmezí 20-50 % (Vymazal, 2016). Účinnost redukce fosforu je možné ovlivnit použitím speciálních sorpčních materiálů (např. zeolit) nebo přistoupit k chemickému srážení fosforu (Kriška, 2015; Saeed, 2012).

3.5.7 Požadavky kladené na kvalitu vypuštěných odpadních vod v ČR

V rámci zajištění a udržení kvality povrchových a podzemních vod byl vytvořen legislativní dokument, který stanovuje množství znečištění obsaženého ve vypouštěných odpadních vodách z čistíren. Znečištění odpadní vody je udáváno pomocí výše popsaných ukazatelů, jejichž hodnota se odvíjí od velikosti řešené čistírny. Velikost čistírny je určena počtem připojených ekvivalentních obyvatel.

Vypouštění odpadních vod do vod povrchových upravuje nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Nařízení vlády udává dva typy hodnot znečištění na odtoku – „p“ a „m“. Hodnoty označované jako „p“ uvádějí přípustné koncentrace na odtoku, které mohou být překročeny v povolené míře. Tato míra závisí na četnosti prováděných zkoušek odpadní vody. Hodnoty označované písmenem „m“ představují limity nepřekročitelné. Přesné limitní hodnoty pro každý ukazatel znečištění je možné nalézt v příloze č.1 tabulce 1a zmiňovaného nařízení vlády.

Limity pro vypouštění odpadních vod do vod podzemních stanovuje nařízení vlády č. 57/2016 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění odpadních vod a náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod podzemních. Uváděné nařízení vlády předpokládá dotaci podzemní vody pouze malými producenty (jednotlivé stavby pro bydlení, rodinná rekreace), pro které stanovuje emisní standardy. Z přílohy č. 1, tabulek 1 A a 1 B je možné určit „m“ hodnoty pro jednotlivé ukazatele znečištění.

3.6 PROCESY ZAJIŠŤUJÍCÍ ODSTRANĚNÍ ORGANICKÝCH LÁTEK V KOŘENOVÝCH ČISTÍRNÁCH

Vyčištěná voda na výstupu z kořenové čistírny je výsledkem mnoha spolupůsobících fyzikálních, chemických a biologických procesů, které probíhají ve filtračním poli současně. Fyzikální procesy zastupují především procesy filtrace a sedimentace, které se využívají pro separaci nerozpuštěných látek. Z důvodu kolmatace filtračních polí se snažíme nerozpuštěné látky oddělit již v předřazeném mechanickém předčištění. Jako příklad chemických procesů lze uvést především oxidačně-redukční reakce, jejichž průběh bývá podmíněn množstvím přítomného kyslíku ve filtračním poli. Biologické procesy zajišťují přítomné bakterie, které jsou přisedlé k povrchu filtračního materiálu, a kořeny rostlin (Saeed, 2012). Následující kapitoly se zabývají procesy rozkladu organického znečištění v závislosti na množství dostupného kyslíku. Procesům, které ovlivňují přeměnu dusíku a fosforu, jsou věnovány kapitoly 3.7 a 3.8.

3.6.1 Aerobní degradace

Jak již název napovídá, jedná se o proces, který je závislý na přítomnosti kyslíku. Aerobní rozklad organických látek tedy obvykle nastává ve vertikálních kořenových filtrech, které jsou schopny zajistit dostatečnou dodávku kyslíku, a v omezené míře ve filtrech horizontálních (Vymazal, 2007). Na aerobní degradaci se podílejí tzv. heterotrofní bakterie, které zajišťují oxidaci organických látek za vzniku oxidu uhličitého, vody a ostatních chemických sloučenin. Zároveň heterotrofní bakterie organické znečištění využívají jako zdroj energie pro následný růst (Saeed, 2012). Aerobní degradace je demonstrována na příkladu rozkladu glukózy na oxid uhličitý a vodu v rovnici 3.7.

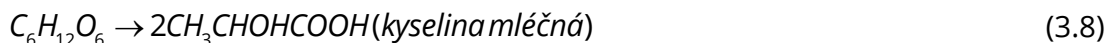


Množství celkového kyslíku potřebného k rozkladu organických látek závisí na složení odpadní vody, především potom na poměru BSK₅/CHSK. Lze uvést, že čím vyšší je poměr těchto dvou ukazatelů, tím lépe jsou organické látky odbouratelné a potřeba kyslíku je menší (Saeed, 2012).

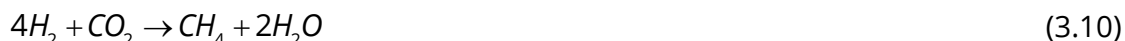
3.6.2 Anaerobní degradace

Anaerobní rozklad, často označovaný jako fermentace, je o poznání náročnějším procesem než jeho aerobní ekvivalent. Anaerobní degradace zajišťuje rozklad organického znečištění v několika po sobě jdoucích krocích (Saeed, 2012). Jednotlivé dílčí reakce se označují jako hydrolýza, acidogenze, acetogeneze a metanogeneze. Velice zjednodušeně popsáno úkolem prvních tří fází fermentace je přeměna

organických látek na organické kyseliny a alkoholy. Současně při jejich průběhu vznikají produkty jako CO_2 a H_2 , které následně společně vstupují s kyselinou octovou do fáze poslední (metanogeneze). Výsledným produktem metanogeneze, a tudíž i celé fermentace, se stává metan a oxid uhličitý (Saeed, 2012). Rovnice 3.8 a 3.9 znázorňují příklady přeměny glukózy na kyselinu mléčnou a ethanol v procesu fermentace.



Produkci metanu v procesu metanogeneze uvádí rovnice 3.10 a 3.11 (Saeed, 2012).



Výše uvedené reakce jsou typické pro anaerobní prostředí filtru, přičemž (Saeed, 2012) uvádí, že meziprodukty fermentace lze nalézt na odtoku právě z filtrů horizontálních.

3.7 PROCESY PODÍLEJÍCÍ SE NA ODSTRAŇENÍ DUSÍKU V KOŘENOVÝCH ČISTÍRNÁCH

Stávající kořenové čistírny často nedosahují požadovaných účinností při odstranění dusíku a jeho dílčích forem. Stav, kdy čistírna není schopna účinně odstraňovat dusík, bývá často zapříčiněn nevhodným návrhem nebo provozováním filtračních polí (Křiška, 2015). Pokud se budeme zabývat jednotlivými procesy, které se na odstranění dusíku podílejí, tak zjistíme, jaké podmínky musí být na kořenových čistírnách nastaveny, aby došlo k účinnému odstranění dusíku. Kapitola o ukazatelích znečištění ozřejmila formy dusíku, které jsou obsaženy v odpadních vodách při přítoku na čistírnu. Následující kapitoly pojednávají o postupných procesech, s jejichž využitím je možné dosáhnout přeměny amoniakálního dusíku až na dusík plyný, čímž dojde k jeho odstranění z odpadní vody.

3.7.1 Amonifikace

Amonifikace bývá často prvním procesem, který probíhá při přítoku odpadní vody na filtrační pole. Její podstata spočívá v přeměně organického dusíku na amoniak, čímž častokrát dojde ke zvýšení koncentrace amoniaku v odpadní vodě ihned po jejím přítoku na filtrační pole (Vymazal, 2007).

Procesem amonifikace se zabývalo několik autorů (Saeed, 2012; Vymazal, 2007), z jejichž studií vyplývá, že amonifikace probíhá ve všech typech prostředí (anaerobním, aerobním i fakultativním) a závisí na teplotě, pH a poměru C/N.

Prakticky všechny studie se shodují, že nejrychlejší průběh lze pozorovat v aerobním prostředí, kde amonifikace předchází procesu nitrifikace. Co se týče ideálních podmínek pro průběh amonifikace, tak (Vymazal, 2007) uvádí jako nejvhodnější hodnotu pH v rozmezí 6,5-8,5 a optimální teplotu 40-60°C.

3.7.2 Nitrifikace

Proces nitrifikace navazuje na předem proběhlou amonifikaci a je to právě on, který má nejvyšší podíl na odstranění amoniakálního dusíku (Saeed, 2012). Nitrifikaci lze zjednodušeně popsat jako oxidaci amoniakálního dusíku na dusičnany. Pokud se budeme tímto procesem zabývat hlouběji, tak zjistíme, že jeho průběh je dvoufázový. V první fázi probíhá oxidace amoniaku na dusitany, které jsou ve druhé fázi následně oxidovány na dusičnany (rovnice 3.12 a 3.13) (Saeed, 2012).



Na průběhu procesu nitrifikace se podílejí z největší části autotrofní bakterie, které přijímají energii z oxidace amoniaku (dusitanu) a zároveň jako zdroj uhlíku pro vlastní syntézu využívají oxid uhličitý. Z výše uváděných rovnic je patrná závislost nitrifikace na množství dostupného kyslíku, a to především pro její první fázi (Vymazal, 2007). Pro průběh celkové nitrifikační reakce (rovnice 3.14) (Vymazal, 2007) udává spotřebu 4,3 mg O₂ na 1 mg N-NH₄⁺.



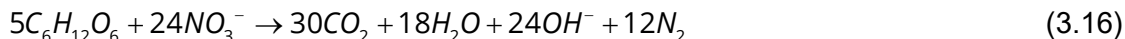
Včetně množství dostupného kyslíku nitrifikaci ovlivňuje také teplota a hodnota pH. Optimální teplota pro průběh oxidačních reakcí se pohybuje v rozmezí 25-40 °C při hodnotě pH 6,6-8,0. Zároveň je vhodné podotknout, že při nitrifikaci dochází ke značné spotřebě alkality, což má za následek snížení hodnoty pH (Vymazal, 2007). Pokud průběh tohoto procesu vztáhneme zpět na případ kořenových čistíren, tak prostředí, které by zajistilo vhodné podmínky pro oxidaci amoniaku, může poskytnout vertikální kořenový filtr.

3.7.3 Denitrifikace

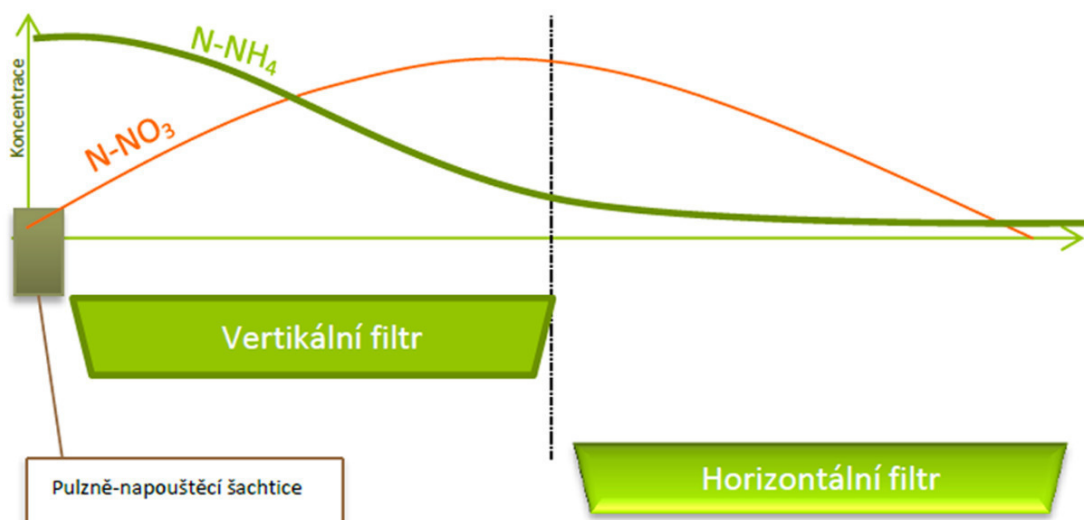
Denitrifikace představuje účinný proces redukce dusičnanů (NO₂⁻, NO₃⁻) až na formu plynného dusíku. Oproti předešlému procesu nitrifikace vyžaduje denitrifikace striktně anaerobní (anoxické) prostředí, a to z důvodu průběhu zmiňovaných redukčních reakcí (Saeed, 2012). Celkový průběh tohoto procesu ovlivňuje přítomnost heterotrofních mikroorganismů, které nejsou schopny získávat energii využitím oxidu uhličitého, a tudíž jsou závislé na přítomnosti organických uhlíkatých sloučenin. Obecně lze průběh denitrifikace vyjádřit rovnicí 3.15 (Vymazal, 2007).



Zdroj uhlíku pro denitrifikační bakterie může zajistit organické znečištění (BSK_5 , CHSK_{Cr}), které je obsaženo v odpadní vodě. Průběh reakce s využitím glukózy jako zdrojem uhlíku udává rovnice 3.16 (Groda, 2007).



Mezi faktory ovlivňující denitrifikaci lze zařadit množství dodaného kyslíku, hodnotu pH a teplotu. Jak již bylo zmíněno výše, ideálním prostředím pro průběh redukčních reakcí je prostředí anoxické, což znamená, že veškerý dostupný kyslík je vázán ve formě dusičnanů (Vymazal, 2007). Optimální rozsah pH uvádí (Saeed, 2012) mezi hodnotami 6–8. Důležité je podotknout, že i proces denitrifikace ovlivňuje hodnotu pH, avšak v porovnání s nitrifikací dochází nárůstu hodnoty pH. Nárůst pH je zapříčiněn uvolňováním hydroxidových iontů OH^- v průběhu reakce (Groda, 2007). Závislost denitrifikace na teplotě lze vyjádřit nárůstem rychlosti průběhu procesu až do teploty 60–75 °C. Na opačné straně nízké teploty pod 5 °C způsobují minimální rychlost průběhu denitrifikace (Saeed, 2012). Z výše uváděných faktorů, které ovlivňují průběh redukce dusičnanů, vyplývá, že vhodné podmínky pro proces denitrifikace může poskytnout prostředí horizontálních filtrů.



Obr. 11 Průběh dusíku v závislosti na prostředí vertikálního a horizontálního filtru (Křiška, 2015)

3.7.4 Těkání

Proces těkání představuje fyzikálně-chemický proces odstranění amoniaku. Při průběhu tohoto procesu dochází k přechodu amoniaku vázaného v odpadní vodě do plynné formy, která se následně z vodní hladiny uvolňuje do ovzduší. Těkání je závislé na hodnotě pH a velikosti plochy volné vodní hladiny. (Vymazal, 2016) udává,

že k významnému úbytku dusíku těkáním dochází při pH větším než 9. Vzhledem k podpovrchovému průtoku vody filtrem (není zajištěna volná hladina) a obvyklému pH odpadní vody 7,5-8,0 nedochází k významnému úbytku dusíku, který by mohl být spojen s procesem těkání (Saeed, 2012).

3.7.5 Odběr rostlinami

Mokřadní rostliny na povrchu filtru zajišťují odběr určitého množství dusíku přímo z odpadní vody pomocí kořenového systému. Tyto rostliny zároveň přivádějí do prostředí filtru malé množství kyslíku. V souvislosti s přívodem kyslíku pomocí rostlin lze uvést pojem rhizosféra, který označuje bezprostřední okolí kořenu rostliny. Rhizosféra bývá dobře okysličená a vyznačuje se tedy aerobním prostředím. Co se týče příjmu dusíku pomocí rostlin, tak přednostně využívanou formou je amoniak a až následně dusičnany. Přednostní využití amoniaku je dáno tím, že dusičnany musí být nejdříve redukovány na využitelnou formu, zatímco amoniak je možno bez dalších úprav použít pro tvorbu aminokyselin (Saeed, 2012).

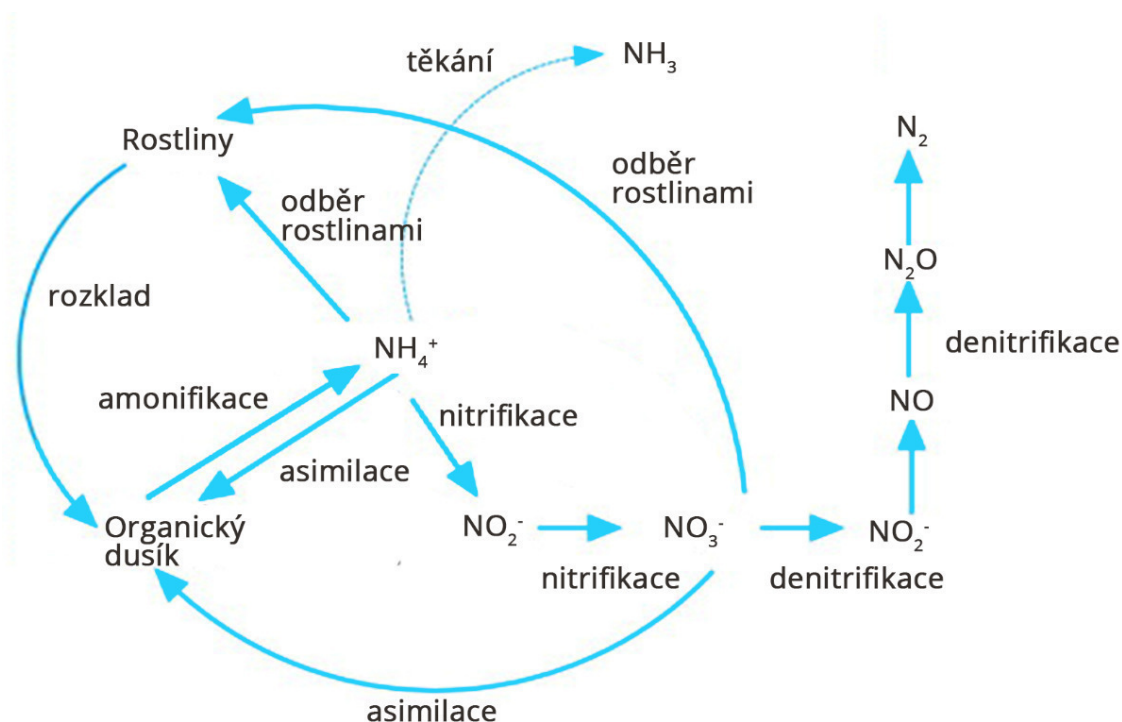
Rostliny zajišťují odběr živin (N a P), které následně akumulují. Ve vegetačním období jsou živiny přemísťovány z kořenů rostlin do jejich nadzemních částí, přičemž v tomto okamžiku hraje důležitou roli sklizení rostlin. Pokud jsou rostliny s absorbovanými živinami pravidelně sklizeny, potom dochází k nevratnému odstranění živin. Naopak na konci vegetačního období trvalé rostliny živiny přemísťují zpět do kořenového systému, z čehož vyplývá, že případná sklizeň v tomto období již nezajistí odstranění takového množství živin jako v předešlém případě. V závislosti na předchozím zjištění lze usuzovat, že největší odběr dusíku z odpadní vody je možné zajistit pravidelným sečením v období růstu (Vymazal, 2007).

(Vymazal, 2007) uvádí množství odebraného dusíku pomocí rostlin do 10 % celkové produkce. (Saeed, 2012) zmiňuje procento odebraného dusíku pomocí rostlin až jako 40 % z celkové produkce. Výrazný rozdíl obou hodnot je možné vysvětlit odlišným typem kořenové čistírny, kdy u čistíren s povrchovým tokem je odběr dusíku rostlinami výrazně vyšší, a rozdílnými druhy použitých rostlin. Nejpožívanější rostlinu na kořenových čistírnách představuje rákos obecný (*Phragmites australis*). Akumulace dusíku pomocí rákosu se pohybuje v rozmezí 30-50 g N/m², přičemž k úplnému odstranění zmiňovaného množství dojde při sklizení vegetace. Z uváděného množství odstraněného dusíku pomocí rostlin vyplývá, že pouze tímto způsobem odstranění dusíku není možné splnit legislativou stanovené emisní standardy (Liu, 2016).

3.7.6 Adsorpce

Proces adsorpce představuje navázání jednotlivých amonných iontů na částice filtračního média. Vazba amonných iontů je velmi slabá, což znamená, že při změně podmínek ve filtračním poli mohou být ionty opět uvolněny (desorpce) (Vymazal, 2007). Každý materiál se vyznačuje určitou sorpční kapacitou. Sorpční kapacita udává množství iontů, které je na sebe materiál schopen navázat. Nejpoužívanější filtrační materiál kamenivo se vyznačuje nízkou sorpční kapacitou, proto množství dusíku odebrané pomocí adsorpce je často minimální. Zároveň při navázání amonných iontů na částice substrátu nedochází k trvalému odstranění dusíku jako u procesů nitrifikace a následné denitrifikace. Pro zajištění odběru amonných iontů pomocí substrátu by bylo nutné vždy po dosažení sorpční kapacity materiálu zajistit jeho výměnu (Saeed, 2012). Množství adsorbovaného dusíku lze ovlivnit typem použitého filtračního materiálu. Jako alternativní materiál s vyšší sorpční kapacitou než kamenivo (Saeed, 2012) uvádí zeolit, který dokáže navázat až 7204 mg N-NH₄⁺ na jeden kilogram materiálu.

Celkový koloběh dusíku zachycený na obrázku 12 představuje hlavní procesy, které probíhají v prostředí kořenových čistíren a mají vliv na jeho odstranění.



Obr. 12 Koloběh dusíku v kořenových čistírnách (Saeed, 2012)

3.8 PROCESY PODÍLEJÍCÍ SE NA ODSTRANĚNÍ FOSFORU V KOŘENOVÝCH ČISTÍRNÁCH

Fosfor představuje nedílnou součást odpadní vody, se kterou se musejí kořenové čistírny vypořádat. V městských odpadních vodách se fosfor nachází ve formě fosforečnanů, které jsou vylučovány močí. Zároveň velký podíl na koncentraci fosforu v odpadní vodě mají prací prostředky, jejichž součástí jsou polyfosfáty. Celkovou produkci fosforu uvádí norma (ČSN 75 6402) jako 2,5 g/den na jednoho ekvivalentního obyvatele. Uváděná hodnota zahrnuje 0,2 g nerozpuštěného fosforu, který je možné zachytit sedimentací, a 2,3 g fosforu rozpuštěného, který před následnou sedimentací musí projít úpravou. Na odstranění fosforu se kromě sedimentace podílí i odběr pomocí rostlin, mikroorganismů a adsorpce filtračního materiálu (Saeed, 2012).

Výše uvedené procesy nezajišťují dostatečnou účinnost odstranění fosforu při běžném zatížení kořenové čistírny. Pro efektivní odstranění a splnění legislativou stanovených limitů by bylo nutné snížit látkové zatížení jednotlivých filtračních polí významným navýšením jejich rozměrů (Dotro, 2017). Z tohoto důvodu se přistupuje k alternativním variantám odstranění fosforu, které může představovat chemické srážení fosforu v rámci stupně mechanického předčištění s jeho následným usazováním (Křiška, 2015).

3.8.1 Odběr rostlinami

Odběr fosforu pomocí rostlin probíhá na obdobném principu jako odběr dusíku. Největší množství fosforu je z odpadní vody odebíráno v období růstu, kdy se živiny stěhují do nadzemních částí rostliny. Naopak na konci vegetačního období živiny putují do kořenových částí rostlin. Obdobně jako při odběru dusíku je nutné zajistit pravidelné sečení rostlin, čímž dojde k odstranění částí rostlin s akumulovaným fosforem. Pokud nejsou rostliny sklizeny, potom dochází k uvolňování fosforu zpět do mokřadního ekosystému při jejich rozpadu. Celkové množství odebraného fosforu závisí na druhu použité rostliny a pohybuje se v rozmezí 0,1-11 g P/m² (Vymazal, 2007).

3.8.2 Adsorpce

Adsorpce fosforu je založena na stejném principu jako adsorpce dusíku. Fosfor je opětovně vázán na povrchu filtračního substrátu, u něhož o množství zachyceného fosforu rozhoduje sorpční kapacita (Dotro, 2017). Z předešlé kapitoly 3.7.6 je zřejmé, že běžně používané materiály (kamenivo) se vyznačují nízkou sorpční kapacitou. Z tohoto důvodu je vhodnější využít alternativní materiály s vyšší kapacitou, které zajistí navázání většího množství fosforu. Dobrou sorpční kapacitou se vyznačují

přírodní materiály jako kalcit, apatit, zeolit a uměle vytvořené odpadní materiály např. strusky (Vymazal, 2016). Nicméně po dosažení sorpční kapacity každý materiál vyžaduje výměnu, aby byl zajištěn neustálý odběr fosforu z odpadní vody (Křiška, 2015).

3.8.3 Chemické srážení fosforu

Přirozené procesy, které probíhají na kořenové čistírně, nejsou schopny zajistit dostatečné odstranění fosforu. Nicméně zajištění nízkých odtokových koncentrací je možné podpořit chemickým srážením fosforu (Křiška, 2015). Při procesu srážení dochází k přechodu rozpuštěných fosforečnanů na méně rozpustné fosforečnany kovů a zároveň vznikají vločky, které vytvořené fosforečnany na sebe navazují. Chemické srážení fosforu tzv. koagulace probíhá za pomoci chemických látek, které jsou označovány jako koagulanty. Jako látky zajišťující koagulaci se obvykle používají soli železa či hliníku (Hlavínek, 2003).

Pro správné zařazení chemického srážení fosforu do provozní linky čistírny je nejprve nutné objasnit samotný proces koagulace, který je složen ze dvou fází – prekinetické a ortokinetické. Při prekinetické fázi dochází k vytváření drobných vloček za působení chemických látek. Prekinetická fáze vyžaduje co možná nejrychlejší rozmísení koagulantu tak, aby došlo k jeho homogenizaci s protékající odpadní vodou. Z důvodu rychlého promíchání se koagulant dává do míst, kde nepředpokládáme dlouhé doby zdržení. Po první fázi následuje fáze flokulace, při níž dochází k shlukování se vzniklých vloček do větších celků. Na rozdíl od první fáze flokulace vyžaduje delší doby zdržení a pomalé míchání, aby nedocházelo k narušování shluklých částic. Takto vzniklé celky již bývají dobře separovatelné a lze je odstraňovat např. sedimentací či filtrací (Hlavínek, 2003).

Jak tedy vhodně vyřešit srážení fosforu na již fungující kořenové čistírně? Z výše uvedeného vyplývá, že nejprve musí proběhnout prekinetická fáze, která zahrnuje rychlé promíchání koagulantu s odpadní vodou a vytvoření vloček. To je možné zajistit dávkováním koagulantu do koncové části lapáku písku, kde se nepředpokládá dlouhá doba zdržení. Zároveň za lapákem písku obvykle navazuje usazovací nádrž, ve které se naopak doba zdržení prodlužuje a může zde proběhnout 2. fáze koagulace. Usazovací nádrž rovněž zajistí separaci agregovaných částic pomocí procesu sedimentace. Sedimentace sražených částic v usazovací nádrži zároveň způsobuje zvýšení produkce kalu, který musí být následně častěji odebírán (Hlavínek, 2003).

3.9 SOUČASNÝ STAV KOŘENOVÝCH ČISTÍREN V ČR

V současnosti je v provozu na území České republiky přibližně 280 kořenových čistíren. Z uváděného počtu největší část tvoří kořenové čistírny o velikosti do 10 EO, které ovšem nejsou předmětem bakalářské práce. Zbylý počet kořenových čistíren slouží výhradně k čištění komunálních odpadních vod, přičemž jejich velikost se nejčastěji pohybuje od 50 do 500 EO. Naprosto drtivá většina těchto čistíren využívá technologii horizontálních kořenových filtrů (Vymazal, 2016).

Stávající čistírny se potýkají s řadou problémů, které vyplývají z málo okysličeného prostředí horizontálního filtru. Jako nejčastější potíže lze uvést minimální účinnost v odstranění amoniakálního i celkového dusíku a kolmataci filtračního materiálu, která následně snižuje účinnost čistírny ve všech ukazatelích (Němcová, 2016). Ucpávání filtračního materiálu způsobuje především nevhodně navržený objekt odlehčovací komory, který není schopen zajistit dodržení maximálních návrhových průtoků. V důsledku překročení maximálního průtoku dochází k vyplachování nerozpuštěných látek z usazovacích nádrží (septiků) na filtrační pole, kde tyto látky způsobují již zmiňované ucpávání filtru (Křiška, 2015).

Vzhledem k výše zmiňovaným problémům v České republice převládá názor, že kořenové čistírny nejsou schopny zajistit vládou požadované emisní limity. Nutné je ovšem poznamenat, že při stávajícím řešení kořenové čistírny pomocí horizontálních filtrů lze tento názor považovat za opodstatněný. Horizontální filtry nejsou schopny zajistit dostatek kyslíku pro účinné odstranění amoniakálního dusíku (Křiška, 2015). V současnosti platná legislativa upravuje vypouštěné koncentrace amoniakálního dusíku do povrchových vod pro čistírny od velikosti 500 EO. Čistírny překračující zmiňovanou velikost tím pádem není možné navrhovat pouze s využitím horizontálních filtrů. Naopak vhodná kombinace horizontálního filtru s vertikálním může zajistit jak dostatečné odstranění amoniakálního dusíku, tak i dusíku celkového (Němcová, 2016).

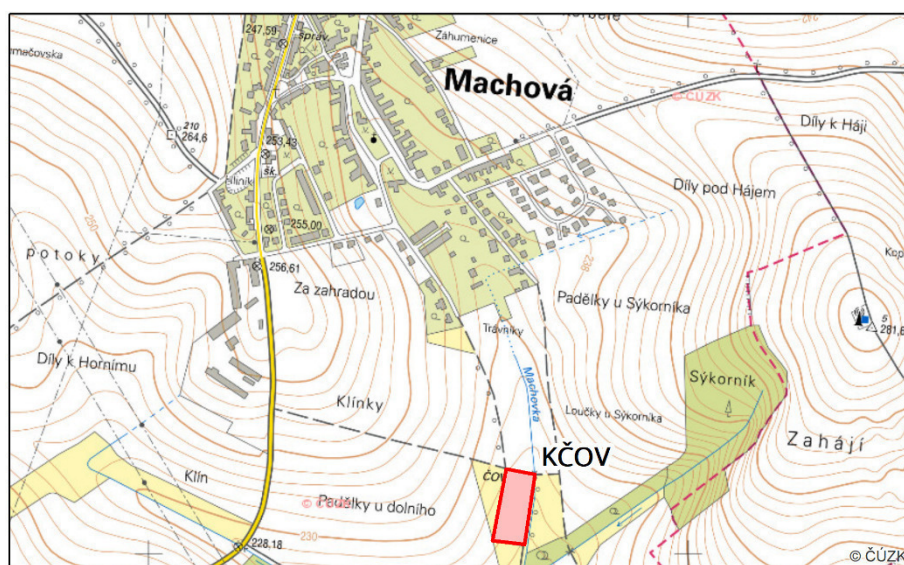
Z důvodu neustálého zpříšňování limitních koncentrací znečištění ve vypuštěných odpadních vodách lze předpokládat, že kořenové čistírny v následujících letech budou muset být schopny vyřešit problém spojený s odstraněním dusíku či fosforu. V tomto případě potom jako možné řešení může sloužit právě vertikální kořenový filtr s doplněným stupněm mechanického předčištění o chemické srážení fosforu (Křiška, 2015).

4 KOŘENOVÁ ČISTÍRNA ODPADNÍCH VOD V OBCI MACHOVÁ

Obec Machová se nachází na území Zlínského kraje ve vzdálenosti 15 km od krajského města Zlín (Charakteristika obce Machová, 2018). Terén obce lze charakterizovat jako mírně vlnitý v nadmořské výšce 240-280 m n. m. Obcí prochází silnice II/438, která zajišťuje její napojení na dopravní infrastrukturu. Co se týče technické infrastruktury, tak je obec zásobována pitnou vodou ze skupinového vodovodu Zlín. Zásobování plynem zajišťuje středotlaký plynovod z obce Sazovice a dodávku elektrické energie obstarává venkovní vedení vysokého napětí 22kV. Odpadní vody jsou spolu s dešťovými svedeny do jednotné kanalizace, která ústí na kořenové čistírně odpadních vod v jižní části obce (obr. 13) (ATELIER .B. Ing. arch. T. Bergmannová, 2013).

Jednotná kanalizační síť je vybudována z betonu a PVC s vnitřními průměry trub DN 250 až DN 1200. Trasa hlavního sběrače kopíruje zatrubněný potok Machovka, který prochází středem obce. Na trase jednotné kanalizace je osazena odlehčovací komora, která zajišťuje dodržení maximálních průtoků přitékajících na kořenovou čistírnu. Kořenová čistírna využívá mechanické předčištění, na které navazuje biologická část složená z filtračních polí. Vyčištěná voda z čistírny je následně odváděna do potoku Machovka (ATELIER .B. Ing. arch. T. Bergmannová, 2013).

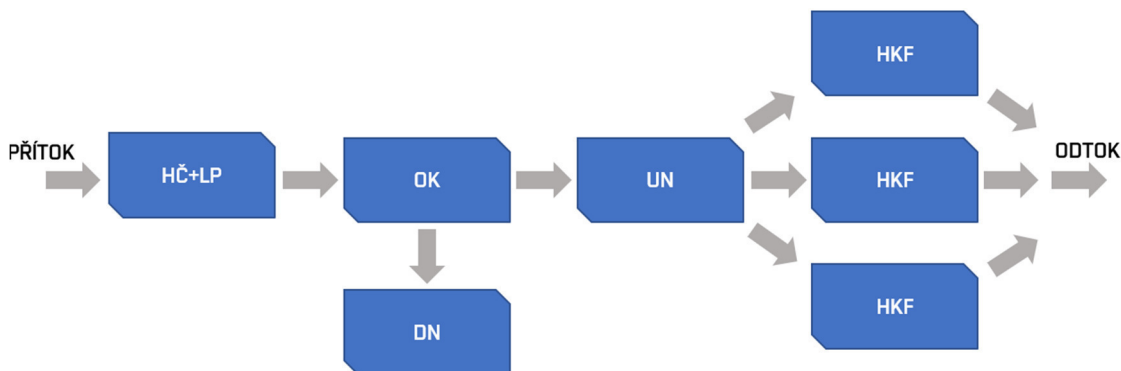
Celkový počet obyvatel v obci k 1. lednu 2017 činí 643 (Machová, 2017). Z tohoto počtu je naprostá většina obyvatel připojena na jednotnou kanalizaci. Samostatně je řešeno nakládání s odpadními vodami pro areál zemědělského družstva, jehož odkanalizování zajišťuje vlastní oddílná kanalizace (ATELIER .B. Ing. arch. T. Bergmannová, 2013).



Obr. 13 Umístění kořenové čistírny v měřítku 1:10000

4.1 SOUČASNÝ STAV KOŘENOVÉ ČISTÍRNY MACHOVÁ

Kořenová čistírna v obci Machová je navržena obdobně jako většina kořenových čistíren v České republice. První část tvoří objekty mechanického předčištění, které následují po poslední šachtě jednotné kanalizace. Na mechanické předčištění následně navazuje biologická část čistírny, která je tvořena třemi horizontálními filtry.



Obr. 14 Schéma současného zapojení jednotlivých objektů

Hrubé česle s lapákem písku (HČ + LP)

Prvním objektem části mechanického předčištění jsou hrubé česle, které mají za úkol zachytit hrubé nečistoty unášené odpadní vodou. Česle jsou stírány ručně, přičemž shrabky jsou ukládány do prohlubně vedle lapáku písku. Lapák písku je zhotoven jako šterbinový s horizontálním průtokem a slouží k zachycení nerozpuštěných anorganických částic. Zachycené částice následně propadávají šterbinami do akumulačního prostoru, který je pravidelně vybírán. Množství usazeného materiálu je odvozeno od výskytu a vydatnosti dešťových srážek viz kapitola 3.2.4.

Odlehčovací komora (OK)

Odlehčovací komora zajišťuje dodržení maximálního přípustného průtoku, který jsou schopny pojmout následující objekty. Překročení těchto průtoků nastává při dešťových srážkách, kdy kanalizace na čistírnu přivádí několikanásobně větší objem vody. Odlehčovací komora je vytvořena z betonu s jednostranným bočním přelivem. Regulaci průtoku zajišťuje nastavitelná plastová deska na odtokovém potrubí (obr.15), s jejíž pomocí dochází k nastavení maximálního průtoku navazujícím potrubím. V objektu komory nastává změna dimenze potrubí z DN 300 na DN 200, což je dáno právě omezením maximálního možného průtoku.

Dešťová nádrž (DN)

Odpadní voda při překročení maximálního průtoku přepadá z odlehčovací komory do dešťové nádrže. Voda je v dešťové nádrži nejprve akumulována, přičemž nedochází k přepadu do vodního toku přes bezpečnostní přeliv, a následně po dosažení maximální hladiny vypouštěna do recipientu. Pokud nedojde k překročení maximální hladiny v dešťové nádrži, potom je zachycená odpadní voda přečerpána zpět na linku čistírny do šachty za odlehčovací komoru. Samotný objekt nádrže je vytvořen z betonu o celkovém objemu 105 m³ (ATELIER .B. Ing. arch. T. Bergmannová, 2013).

Usazovací nádrž (UN)

Štěrbínová usazovací nádrž zajišťuje sedimentaci organických nerozpuštěných látek tak, aby se zamezilo zanášení navazujících filtračních polí. Konstrukční řešení štěrbínové nádrže je podrobněji popsáno v kapitole 3.2.5. Pro správnou funkci usazovací nádrže je nutné několikrát za rok (podle nárůstu množství kalu) provést odčerpání kalu, který je odvážen a následně zpracováván v procesu kalového hospodářství čistírny v Otrokovicích.



Obr. 15 Objekty KČOV Machová, vlevo odlehčovací komora, vpravo usazovací nádrž

Horizontální kořenové filtry (HKF)

Hlavní čistící část kořenové čistírny se skládá ze třech obdobných horizontálních filtrů. Celková plocha představuje 3600 m², přičemž na každý filtr připadá 1200 m². Filtry jsou zapojeny paralelně, což znamená, že odpadní voda vždy proteče pouze jedním filtrem. Dno každého filtru se nachází přibližně 1 m pod stávající úrovní povrchu a vždy je opatřeno hydroizolací tak, aby se zabránilo průniku odpadní vody do podloží a následné kontaminaci podzemních vod. Konstrukční řešení horizontálních filtrů včetně jejich provozu uvádí kapitola 3.3, přičemž řešení na čistírně v Machové je obdobné.

4.1.1 Zatížení čistírny na přítoku

Kořenová čistírna je zatížena převážně komunálními odpadními vodami z obce Machová, jejichž množství za deště několikanásobně narůstá. Z možného nárůstu průtoku vyplývá, že čistírna si musí poradit jednak s koncentrovanou odpadní vodou, ale také s vodou naředěnou. Průměrný přítok odpadní vody od roku 2013 do roku 2016 uvádí tabulka 4.1. Vzhledem ke stáří kanalizace je také nutné uvažovat značný podíl tzv. balastních vod, které pronikají do stoky jejími netěsnostmi a poruchami.

Tab. 4.1 Průměrné hodnoty přítoku na čistírnu

Rok	Průměrný přítok Q v l/s
2013	2,59
2014	2,52
2015	2,26
2016	2,59
Průměr	2,49

Předpokládanému velkému množství balastních vod odpovídají i koncentrace znečištění na přítoku pro jednotlivé ukazatele. Hodnoty uváděných koncentrací byly převzaty z rozborů odpadní vody na přítoku prováděných v letech 2011-2013. Vzhledem k velikosti čistírny (nad 500 EO) je nutné podle přílohy č. 1 k nařízení vlády č. 401/2015 Sb. o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech sledovat ukazatele znečištění BSK₅, CHSK_{Cr}, NL a N-NH₄⁺. Ostatní ukazatele (P_{celk} a N_{celk}) tedy nebyly předmětem prováděných rozborů. Zjištěné hodnoty uvádí tabulka 4.2.

Tab. 4.2 Koncentrace znečištění na přítoku v letech 2011-2013, hodnoty uváděny v mg/l

Rok	BSK ₅	CHSK _{Cr}	N-NH ₄ ⁺	NL
2011	15,8	39,7	6,3	13,1
2012	34,4	99,7	18,6	21,2
2013	14,3	60,7	9,5	18,5
Průměr	20,5	66,7	11,5	17,6

Takto nízké koncentrace znečištění na přítoku jsou zapříčiněny jednak již zmiňovaným velkým množstvím balastních vod, ale také pozdějším vybudováním kanalizace, kdy většina domácností řešila čištění odpadních vod individuálně pomocí

septiků. Po vybudování čistírny došlo k napojení domácností na kanalizaci, přičemž funkce septiků zůstala zachována (ATELIER .B. Ing. arch. T. Bergmannová, 2013).

Výpočet množství balastních vod Q_B

Pro orientační určení podílu množství balastních vod na celkovém přítoku na čistírnu je nejprve nutné spočítat průměrný denní přítok označovaný jako $Q_{24,m}$. Hodnotu průměrného denního přítoku lze určit dosazením do následujícího vzorce.

$$Q_{24,m} = q_{sp} \cdot EO \quad (4.1)$$

kde $Q_{24,m}$ průměrný denní přítok odpadních vod v [l/s],

q_{sp} specifická produkce odpadních vod [l/den na 1 obyvatele],

EO počet ekvivalentních obyvatel [-].

Pro potřeby výpočtu byla zvolena specifická produkce odpadní vody na jednoho obyvatele na 150 l/den a počet EO 650, který víceméně koresponduje s počtem obyvatel v obci (zemědělské družstvo má vlastní řešení nakládání s odpadními vodami, jiný producent znečištění v obci není).

Po dosazení $Q_{24,m} = 150 \cdot 650 = 97500 \text{ l / den} = 1,13 \text{ l / s}$

Rozdílem skutečného přítoku na čistírnu a průměrného denního přítoku lze již zjistit množství balastních vod Q_B podílejících se na celkovém přítoku (4.2).

$$Q_B = Q_{skut} - Q_{24,m} \quad (4.2)$$

kde Q_B velikost přítoku balastních vod [l/s],

Q_{skut} skutečný přítok odpadních vod určený průměrem z tabulky 4.1 [l/s].

Po dosazení $Q_B = 2,49 - 1,13 = 1,36 \text{ l / s}$, což představuje přibližně 55 % balastních vod.

Určení výsledné koncentrace na přítoku

Nízkou koncentraci znečištění na přítoku mají na svědomí kromě balastních vod také stále fungující septiky u jednotlivých domácností, které jsou řazeny před napojením na kanalizaci. Vliv septiků na výsledné koncentrace znečištění na přítoku uvádí tabulka 4.3. Pro výpočet byly použity hodnoty specifického znečištění na 1 EO z (ČSN 75 6402). Vstupní koncentraci před septikem c_0 vyjadřuje rovnice 4.3.

$$c_0 = \frac{S_0}{q_{sp}} \quad (4.3)$$

kde c_0 koncentrace odpadní vody před septikem [l/s],
 S_0 specifické znečištění na 1 EO pro jednotlivé ukazatele [g/os·den],
 q_{sp} specifická produkce odpadních vod [l/den na 1 obyvatele].

Pro dosažení požadovaných koncentrací, které byly zjištěny chemickými rozbory na přítoku, bylo dále nutné **odhadnout průměrnou účinnost septiků**. Vzhledem k mimořádně nízkým koncentracím na přítoku byl odhad účinnosti septiků extrémně vysoký. Samozřejmě nelze předpokládat, že septiky v obci jsou schopny dosahovat účinností uváděných v tabulce 4.3, proto je nutné uvažovat i s podílem účinnosti v rámci kanalizačního systému. Přesná specifikace a podíl vlivu septiků/kanalizace není předmětem ani cílem bakalářské práce, proto jsou jednotlivé účinnosti zahrnuty u každého typu znečištění pod jedním číslem – viz tab. 4.3. Výsledné účinnosti septiků podle (ČSN 75 6402) odpovídají spíše anaerobním separátorům.

Zároveň nelze předpokládat, že všichni EO jsou napojeni na kanalizaci přes septik. Pro dosažení skutečných koncentrací odhad EO využívajících septiky činí 96 %. Při známém počtu obyvatel napojených za pomoci septiku je možné určit výslednou koncentraci znečištění v odpadní vodě po průtoku septiky z rovnice 4.4.

$$c_1 = PS \cdot c_0 \cdot (100 - E) + (100 - PS) \cdot c_0 \quad (4.4)$$

kde c_1 celková koncentrace po průtoku odpadní vody septiky [mg/l],
 PS podíl septiků v obci [%],
 c_0 koncentrace odpadní vody před septikem [l/s],
 E účinnost septiku [%].

Odpadní voda po předčištění septiky je následně po délce kanalizace ředěna balastními vodami. Proto je pro výpočet nutné využít směšovací rovnici, ve které bude koncentrace odpadní vody ovlivněna přidaným množstvím vod balastních. V tabulce 4.3 je hodnota koncentrace znečištění po zředění balastní vodou označena jako c_2 a pro její určení byla využita rovnice 4.5. Vstupní hodnoty výpočtu představuje známý přítok balastních vod Q_B určený v rovnici 4.2 a průměrný denní přítok vypočtený v rovnici 4.1.

$$c_2 = \frac{c_1 \cdot Q_{24,m}}{Q_{24,m} + Q_B} \quad (4.5)$$

kde c_2 koncentrace odpadní vody po zředění vodou balastní [mg/l],
 c_1 koncentrace po průtoku odpadní vody septikem [mg/l],
 $Q_{24,m}$ průměrný denní přítok odpadních vod v [l/s],
 Q_B přítok balastních vod Q_B [l/s].

Následující tabulka 4.3 udává průběh koncentrací znečištění odpadní vody po vniknutí odpadní vody do kanalizace (hodnota c_0), následném předčištění septiky s účinností E (hodnota c_1) a výslednou koncentrací odpadní vody při přítoku na čistírnu odpadních vod, která je snížena množstvím balastních vod (hodnota c_2).

Tab. 4.3 Vliv septiků na výslednou koncentraci znečištění v odpadní vodě

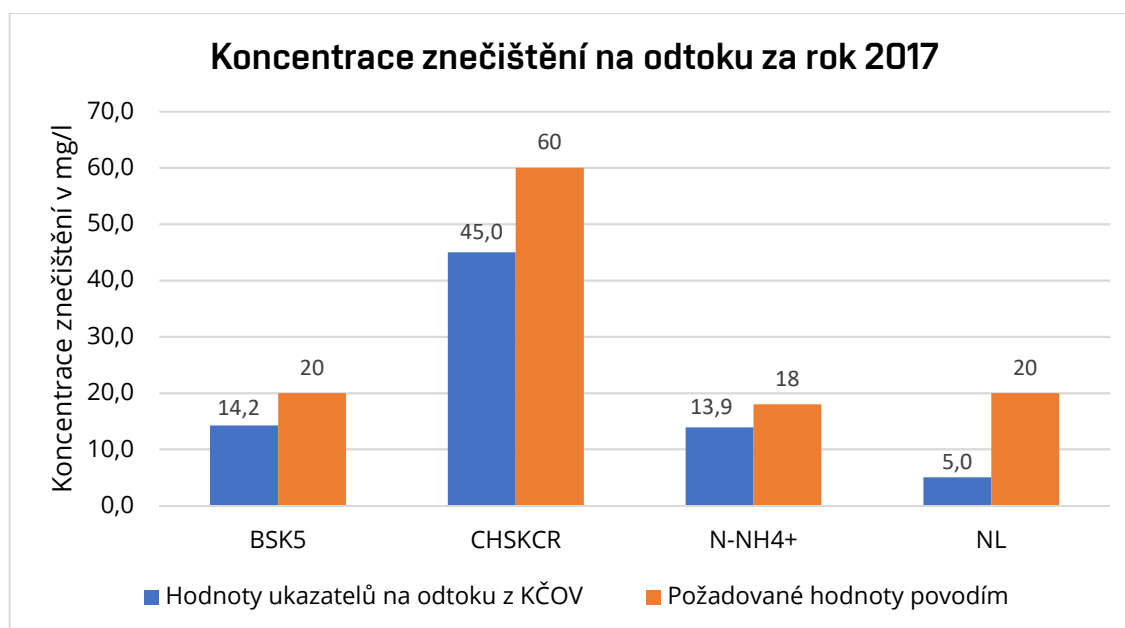
S ₀ [g/os·den]		c ₀ [mg/l]	E [%]	c ₁ [mg/l]	c ₂ [mg/l]
BSK ₅	60	400	92	48	22
CHSK _{Cr}	120	800	85	147	67
N _{celk} ¹	11	73	15	63	28
P _{celk} ²	2,5	17	25	13	6
NL	55	367	80	85	39

4.1.2 Současná účinnost čistírny

Kořenová čistírna se v současné době potýká s několika problémy, které zapříčiňují její nízkou účinnost při odstranění znečištění z odpadní vody. Navzdory nízké účinnosti je čistírna schopna splňovat limity stanovené nařízením vlády pro čistírny o velikosti od 500 do 2000 EO. Nicméně státní podnik Povodí Moravy, s.p. Brno vydal v roce 2002 vyjádření o změně limitů pro vypouštění odpadní vody, kde v závislosti na vyhodnocení zkušebního provozu hodnoty z nařízení vlády zpřísnil. Množství vypouštěné odpadní vody je omezeno na základě povolení k nakládání s vodami na 3,7 l/s, což čistírna s rezervou splňuje (v současnosti 2,49 l/s). Aktuální průměrné koncentrace znečištění na odtoku v porovnání s upravenými limity podnikem povodí zachycuje obr. 16.

¹ N_{celk} uvažován převážně ve formě N-NH₄⁺, který je sledován na přítoku

² P_{celk} není sledován



Obr. 16 Graf průměrné koncentrace znečištění na odtoku za rok 2017

Jelikož, jak bylo uvedeno výše, dosahuje podíl balastních vod 55 %, lze předpokládat špatný stav kanalizačního systému. V případě budoucích oprav kanalizace by čistírna nebyla schopna svým provozem dodržovat stanovené limity. Rekonstrukce kanalizace by znamenala úbytek podílu balastních vod na celkovém přítoku, což by mělo za následek významné zvýšení koncentrací znečištění na přítoku. Tyto koncentrace samozřejmě také může ovlivnit vybudování nové kanalizace, přičemž stávající stokový systém by byl využíván jako kanalizace dešťová. Nejpravděpodobnější a předpokládané zvýšení množství znečištění představuje nová výstavba v obci a připojení dalších producentů. Při žádném z uváděných případů není možné zaručit, že čistírna zajistí požadované limity koncentrací znečištění na odtoku. S přihlédnutím k současné účinnosti (tab. 4.4) lze předpokládat, že stanovené limity budou překročeny. Výpočet účinností v posledním sloupci tabulky 4.4 vychází z rovnice 4.5.

$$E = \frac{C_0 - C_1}{C_0} \cdot 100 \quad (4.5)$$

kde E účinnost čistírny pro daný ukazatel [%],
 C_0 koncentrace znečištění na přítoku [mg/l],
 C_1 koncentrace znečištění na odtoku [mg/l].

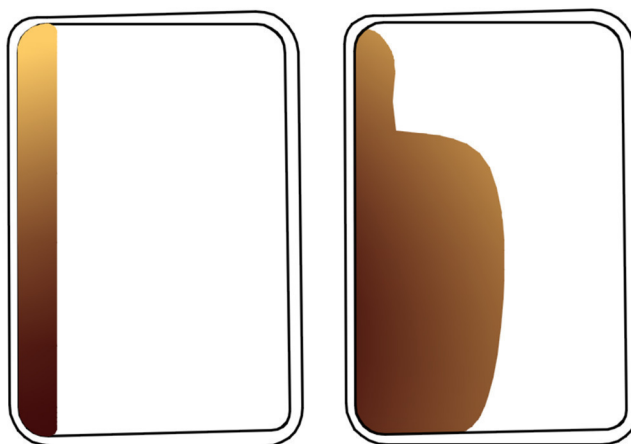
Tab. 4.4 Průměrná účinnost čistírny určená z naměřených hodnot v rozmezí let 2011-2013

Ukazatel	Přítok [mg/l]	Odtok [mg/l]	Účinnost [%]
BSK ₅	20,5	4,1	77,8
CHSK _{Cr}	66,7	36,2	46,7
N-NH ₄ ⁺	11,5	6,4	32,3
NL	17,6	4,2	74,3

4.1.3 Problémy vyplývající ze současného řešení čistírny

Z předchozí kapitoly je patrné, že zásadní problém kořenové čistírny představuje nízká účinnost pro všechny ukazatele znečištění. Problém nízké účinnosti může být přičítán již samotnému návrhu. Navržené horizontální filtry jsou plněny odpadní vodou každý samostatně, z čehož vyplývá, že odpadní voda je filtrována vždy pouze přes jeden filtr. Z kapitoly 3.3 je zřejmé, že řešení kořenové čistírny pouze pomocí horizontálních filtrů není schopné zajišťovat dostatečné odstranění amoniakálního dusíku. Tvzení nízké účinnosti horizontálních filtrů při odstranění N-NH₄⁺ potvrzuje i čistírna v Machové, kde účinnost odstranění N-NH₄⁺ činí průměrně 32 % (tab. 4.4).

Čistírna je v nepřetržitém provozu od roku 2001, kdy bylo vydáno povolení k prozatímnímu užívání. Za tuto dobu neproběhla žádná úprava nebo regenerace filtračních polí. Na povrch filtrů byly v průběhu času vyplavovány nerozpuštěné látky, které nebyly zachyceny ve stupni mechanického předčištění. Zároveň také nelze vyloučit vypláchnutí akumulovaného kalu z usazovací nádrže zapříčiněné nadměrným průtokem. K dnešnímu dni je stav takový, že na povrchu filtrů se v součtu nachází přibližně 165 m³ kalu (určeno na základě provedeného měření zakolmatované plochy a výšky vyplaveného kalu). Největší množství kalu pokrývá povrch v okolí přívodního potrubí. Zanesení povrchu filtrů je znázorněno na obrázku 17.



Obr. 17 Schématické znázornění rozložení kalu na ploše 1. filtru (vlevo), 2. a 3. filtr (vpravo)

Samotné zanesení filtru vyplaveným kalem způsobuje nižší účinnost čistírny. Odpadní voda přitéká na filtr přívodním potrubím, ale nejdříve protéká po zaneseném povrchu filtru, čímž se oddaluje místo vsáknutí vody do filtračního prostředí (Kriška, 2015).

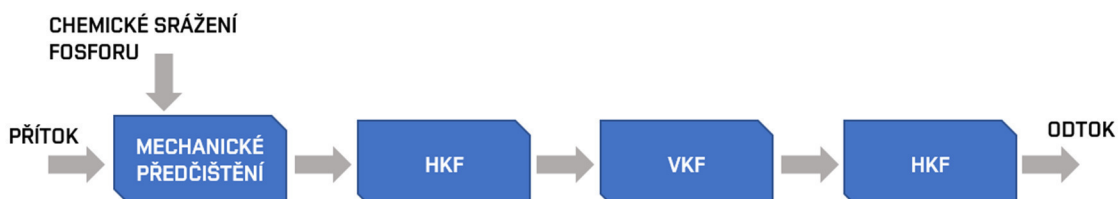
Jako další problém lze označit produkci sulfanu, která je úzce spojena s anaerobním prostředím horizontálního filtru. Síra tvoří jednu ze složek odpadní vody, pokud je vystavena bezkyslíkatému prostředí a působení bakterií, potom může dojít k její přeměně na sulfan. Sulfan představuje těkavý plyn, který je rozpustný ve vodě. Z odpadní vody ovšem velice dobře uniká, aby se následně akumuloval ve volných prostorech, což mohou být právě sběrné šachty za filtračním polem (Hlušík, 2017). Na povrchu šachet lze následně pozorovat projevy síranové koroze, kdy jsou narušovány betonové stěny šachet. Následující snímky (obr. 18) zachycují projevy síranové koroze a vizuálně posouditelnou kvalitu vypouštěné odpadní vody do potoku Machovka.



Obr. 18 Šachta poškozená síranovou korozí (vlevo) a vypouštěné odpadní vody (vpravo)

4.2 NAVRHOVANÁ ÚPRAVA ČISTÍRNY

Návrh intenzifikace kořenové čistírny reflektuje výše uvedené problémy, které jsou z převážné části spojeny s anaerobním prostředím horizontálních filtrů. Dodávku dostatečného množství kyslíku odpadní vodě by měla zajistit přestavba prostředního horizontálního filtru na filtr vertikálně protékavý. Zároveň pro zajištění vyšší účinnosti a vytvoření vhodných podmínek pro procesy odstraňující dusík byla navržena změna z paralelního zapojení na sériové (obr. 19).



Obr. 19 Schéma nového zapojení filtračních polí, horizontální kořenový filtr (HKF), vertikální kořenový filtr (VKF)

Při sériovém zapojení filtrů první horizontální filtr zajistí odstranění zbytkových nerozpuštěných látek, které nebyly zachyceny ve stupni mechanického předčištění. Takto filtrovaná voda by následně neměla způsobovat zanášení nízké frakce použité pro vertikální filtr. Provoz vertikálního filtru je navržen jako pulzně skrápěný, což znamená, že ve filtračním poli dochází ke střídání nasycené fáze s fází nenasyčenou. Pulzní skrápění zajišťuje dodání dostatečného množství kyslíku pro proces nitrifikace.

Poslední horizontální filtr neprochází žádnou úpravou. Jeho účelem je zajištění anaerobního prostředí pro proces denitrifikace, který vede k celkovému odstranění dusíku. Problém s množstvím kalu, který se nachází na povrchu filtrů, bude vyřešen prostým odtěžením a jeho následnou likvidací.

Navrhovaná intenzifikace zároveň uvažuje i s účinným odstraňováním fosforu, které se zajistí doplněním mechanického předčištění o chemické srážení fosforu pomocí koagulantu. Samotný koagulant bude dávkován do lapáku písku, přičemž vytvořené vločky s navázaným fosforem budou sedimentovat v usazovací nádrži.

4.2.1 Výpočet účinnosti navrhované úpravy

Pro výpočet očekávaných výstupních koncentrací na odtoku po realizované úpravě byly použity průměrné vstupní hodnoty znečištění z rozmezí let 2011-2013, které jsou uváděny v tabulce 4.4.

První horizontální filtr

Výpočet koncentrace znečištění po protečení prvním horizontálním filtrem vychází z upravené rovnice 3.3, která je uváděna v kapitole 3.3.1. Rovnice 3.3 využívá pro návrh plochy filtru ukazatel znečištění BSK₅. Hodnota BSK₅ na přítoku čistírny z tabulky 4.4 činí 20,5 mg/l. Koncentraci BSK₅ je nutné před samotným výpočtem ponížít o účinnost usazovací nádrže ve stupni mechanického předčištění. Účinnost nádrže byla uvažována 25 %. Volená hodnota vychází z účinností uváděných v tabulce 1 (ČSN 75 6402). Výpočet koncentrace po průtoku usazovací nádrží je možné provést z rovnice 4.6.

$$c_p = \frac{c_0 \cdot (100 - E_{UN})}{100}, \quad (4.6)$$

kde c_p koncentrace BSK₅ za usazovací nádrží [mg/l],
 c_0 vstupní koncentrace BSK₅ [mg/l],
 E_{UN} účinnost usazovací nádrže, uvažována 25 %.

$$\text{Po dosazení } c_p = \frac{20,48 \cdot (100 - 25)}{100} = 15,36 \text{ mg / l}$$

Hodnota znečištění po průtoku usazovací nádrží je dále použita pro výpočet výsledné koncentrace za prvním horizontálním filtrem (upravená rovnice 3.3).

$$c_o = e^{\ln c_p - \frac{A \cdot k_{BSK}}{Q_d}} \quad (4.7)$$

kde c_o výstupní koncentrace BSK₅ za horizontálním filtrem [mg/l],
 c_p vstupní koncentrace BSK₅ z usazovací nádrže, 15,36 mg/l,
 A plocha filtru, 1200 m²,
 k_{BSK} rychlostní konstanta úbytku znečištění BSK₅ [m/d],
 Q_d průměrný denní přítok vody, 215,14 m³/d.

Z dostupných naměřených hodnot (koncentrace na přítoku a na odtoku) bylo možné určit rychlostní konstantu úbytku znečištění k_{BSK} z rovnice 4.8. V uváděné rovnici hodnota A_c představuje celkovou plochu všech stávajících filtrů 3600 m² a hodnota c_o současnou průměrnou koncentraci BSK₅ na odtoku 4,12 mg/l.

$$k_{BSK} = \frac{Q_d \cdot (\ln c_p - \ln c_o)}{A_c} = \frac{215,14 \cdot (\ln 15,36 - \ln 4,12)}{3600} = 0,08 \text{ m/d} \quad (4.8)$$

Se známou rychlostní konstantou úbytku znečištění k_{BSK} je možné dosadit do rovnice 4.7 a vypočítat výstupní koncentraci za prvním filtrem.

$$\text{Po dosazení } c_o = e^{\ln 15,36 - \frac{1200 \cdot 0,08}{215,14}} = 9,90 \text{ mg/l}$$

Účinnost prvního horizontálního filtru vypočtená z upravené rovnice pro určení koncentrace za usazovací nádrží (4.6) činí 35,5 %. Takto nízká hodnota je dána především vysokým zatížením omezené plochy filtru. Parametr k_{BSK} je nutný pro znalost „chování“ filtru v případě, že dojde k jeho hydraulickému přetížení v rámci intenzifikace (dojde k přesměrování veškeré vody na jediný horizontální filtr).

Vertikální filtr

Z výše uváděného návrhu intenzifikace vyplývá, že vertikální filtr bude vytvořen přestavbou stávajícího druhého horizontálního filtru. Z tohoto důvodu bude jeho plocha omezena na dostupných 1200 m², což je plocha filtru horizontálního. Podrobné konstrukční řešení úpravy popisuje technická zpráva, která je součástí příloh bakalářské práce.

Návrh vertikálních filtrů upravuje (ČSN 75 6402), která zároveň udává hodnotu pro výpočet potřebné plochy filtru. Normou udávaná hodnota je vyjádřena v ukazateli CHSK, proto bylo nejprve nutné provést odhad koncentrace znečištění CHSK po

průtoku odpadní vody horizontálním filtrem. Výpočet předpokládané koncentrace CHSK vychází ze vzájemného poměru BSK₅/CHSK na přítoku a odtoku z čistírny (4.9).

$$\frac{BSK_5}{CHSK} = \frac{P_{O-P}}{A_c} \cdot A + P_p \quad (4.9)$$

kde P_{O-P} rozdíl poměru BSK₅/CHSK mezi odtokem a přítokem, 1:5,55,
 A_c celková plocha filtračních polí, 3600 m²,
 A plocha horizontálního filtru, 1200 m²,
 P_p poměr BSK₅/CHSK na přítoku, 1:3,26.

Po dosazení $\frac{BSK_5}{CHSK} = \frac{5,55}{3600} \cdot 1200 + 3,26 = 5,1$

Výsledný poměr BSK₅/CHSK za horizontálním filtrem vychází 1:5,1. Vynásobením vypočteného poměru s koncentrací c_o (koncentrace BSK₅ na výstupu z prvního filtru) za prvním filtrem je možné vyjádřit koncentraci CHSK na přítoku vertikálního filtru.

$$c_{CHSK} = 9,90 \cdot 5,1 = 50,54 \text{ mg / l}$$

Z hodnoty c_{CHSK} lze výpočtem určit potřebnou plochu pro vertikální filtr. (ČSN 75 6402) udává návrhové plošné zatížení filtru jako 15-20 g_{CHSK}/m²/den. Nejprve je nutné s využitím rovnice 4.10 určit celkovou produkci znečištění za den, která bude následně vydělena návrhovým plošným zatížením.

$$S_{CHSK} = Q_d \cdot c_{CHSK} \quad (4.10)$$

kde S_{CHSK} produkce znečištění CHSK [g/d],
 Q_d průměrný denní přítok vody, 215,14 m³/d,
 c_{CHSK} koncentrace CHSK na přítoku na vertikální filtr [g/m³].

Po dosazení $S_{CHSK} = 215,14 \cdot 50,54 = 10874 \text{ g / d}$

$$\text{Potřebná plocha filtru } A = \frac{S_{CHSK}}{20} = \frac{10874}{20} = 544 \text{ m}^2$$

Takto malá potřebná plocha vertikálního filtru vychází z důvodu vysokého naředění přiváděné odpadní vody. Nicméně při provozu vertikálního filtru bude limitujícím faktorem právě vysoké množství přiváděné vody. Jak uvádí (ČSN 75 6402) limitní hydraulické zatížení filtru činí 0,15 m³/m²/den. Z plochy filtru lze tedy vyjádřit maximální možný průtok, kterým bude filtr zatěžován (4.11).

$$Q_{\max} = v_f \cdot A_{VF} \quad (4.11)$$

kde Q_{\max} maximální dovolený přítok na vertikální filtr [m³/d],

v_f přípustné hydraulické zatížení, $0,15 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{den}$,

A_{VF} plocha vertikálního filtru, 1200 m^2 .

Po dosazení $Q_{\max} = 0,15 \cdot 1200 = 180 \text{ m}^3 / \text{d}$

Celkový přítok na čistírnu ovšem činí $215 \text{ m}^3/\text{d}$. Vzhledem k hodnotě Q_{\max} je nutné část odpadní vody oddělit před nátokem na vertikální filtr a převést přímo na třetí horizontální filtr. Velikost „obtokového“ průtoku lze určit z rozdílu $Q_d - Q_{\max}$, který činí $35 \text{ m}^3/\text{d}$. Co se týče koncentrací za vertikálním filtrem, výsledná koncentrace CHSK na přítoku posledního filtru bude určena směšovací rovnicí 4.12.

$$c_{CHSK} = \frac{c_{VF} \cdot Q_{\max} + c_{HF} \cdot Q_n}{Q_d} \quad (4.12)$$

kde c_{CHSK} celková koncentrace CHSK před třetím filtrem [mg/l],

c_{VF} koncentrace CHSK po protečení vertikálním filtrem s předpokládanou účinností filtru 90 % (volena z (ČSN 75 6402)), $5,0 \text{ mg}/\text{l}$,

c_{HF} koncentrace CHSK v odpadní vodě, která neprotéká vertikálním filtrem, $50,5 \text{ mg}/\text{l}$,

Q_{\max} maximální dovolený přítok na vertikální filtr, $180 \text{ m}^3/\text{d}$,

Q_n nadlimitní průtok přepadající na třetí filtr $35 \text{ m}^3/\text{d}$,

Q_d průměrný denní přítok vody, $215 \text{ m}^3/\text{d}$.

Po dosazení $c_{CHSK} = \frac{5 \cdot 180 + 50,5 \cdot 35}{215} = 12,4 \text{ mg} / \text{l}$

Druhý horizontální filtr

Na druhý horizontální filtr přitéká odpadní voda s výše vypočtenou koncentrací CHSK $12,4 \text{ mg}/\text{l}$. Koncentraci CHSK je opět možné přes poměr BSK_5/CHSK převést na koncentraci BSK_5 , která činí $2,4 \text{ mg}/\text{l}$. Se známou vstupní koncentrací BSK_5 lze vypočítat výstupní koncentraci na odtoku z čistírny obdobně jako u prvního filtru v rovnici 4.7. Jediným rozdílným členem rovnice je koncentrace na přítoku c_p , která činí zmiňovaných $2,4 \text{ mg}/\text{l}$.

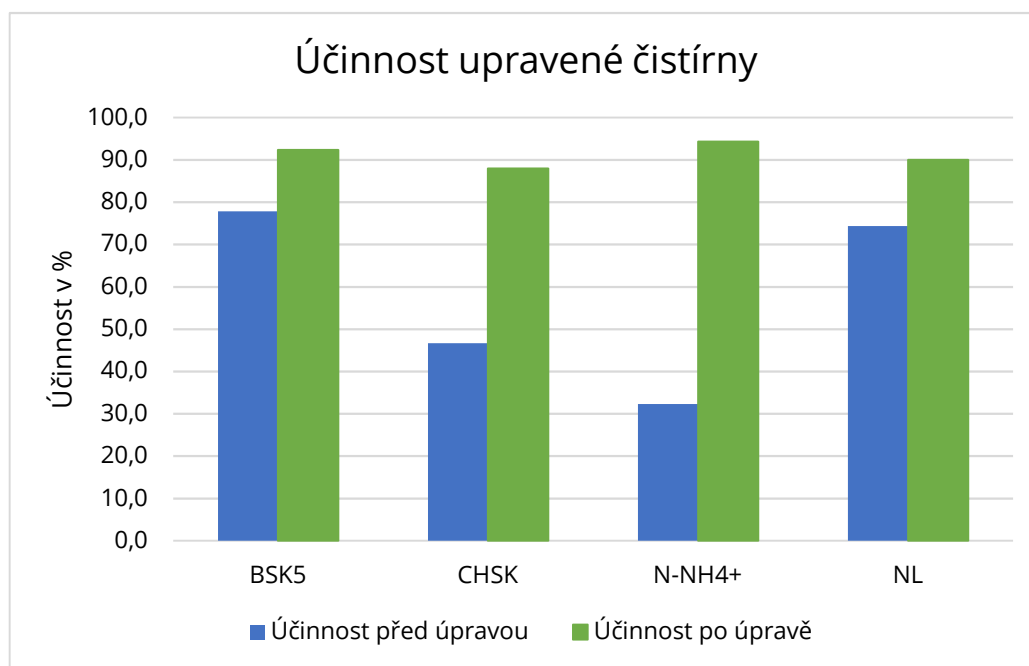
Po dosazení do rovnice 4.7 $c_o = e^{\ln 2,4 - \frac{1200 \cdot 0,8}{215}} = 1,6 \text{ mg} / \text{l}$

Na odtoku z posledního horizontálního filtru, respektive z čistírny, lze očekávat koncentraci BSK_5 $1,6 \text{ mg}/\text{l}$. V tabulce 4.5 jsou určeny ostatní předpokládané hodnoty znečištění na odtoku.

Tab. 4.5 Výsledné koncentrace na odtoku a účinnost čistírny po úpravě

Ukazatel	Koncentrace [mg/l]	Účinnost [%]
BSK ₅	1,6	92,3
CHSK _{Cr}	8,0 ³	88,0
NL	<1,0	> 94,0
N-NH ₄ ⁺	1,1	90,0 ⁴
N _{celk}	3,4	70,0 ⁵
P _{celk}	2,0 ⁶	-

S přihlédnutím k nízkým vstupním koncentracím vycházejí koncentrace výstupní hluboko pod požadovanými hodnotami uváděnými v kapitole 4.1.2. Vzhledem k návrhu úpravy lze předpokládat vysokou účinnost i pro parametry, které nepodléhají sledování u velikost čistírny do 2000 EO, ale ovlivňují přirozené prostředí vodních toků. Zároveň navrhovaná úprava předpokládá vyřešení problémů, které pramení z anaerobního prostředí filtrů. Zvýšení účinnosti ve všech sledovaných parametrech uvádí graf na obrázku 20. Podrobné řešení jednotlivých úprav je předmětem výkresové dokumentace a přiložené technické zprávy.



Obr. 20 Graf účinnosti upravené čistírny

³ Hodnota dopočítána z předešlého poměru BSK₅/CHSK

⁴ Účinnost odstranění N-NH₄⁺ zvolena z (ČSN 75 6402)

⁵ Parametr se nesleduje, účinnost odstranění celkového dusíku plyne ze zapojení filtračních polí a je převzata z ÖNORM B 2505:2005-05

⁶ Garantovaná hodnota fosforu na odtoku po doplnění linky o chemické srážení fosforu

4.2.2 Výpočet účinnosti čistírny po rekonstrukci stokové sítě

Jak již bylo uváděno, nízké koncentrace znečištění v odpadní vodě jsou zapříčiněny špatným stavem kanalizace i vysokým množstvím balastních vod. Lze předpokládat, že výhledově se obec bude snažit vzniklou situaci vyřešit a dojde k přechodu na oddílnou kanalizační síť. V tomto případě by to mohlo znamenat změnu využití stávající kanalizace, která by pravděpodobně zajišťovala odvod pouze dešťových vod. V návaznosti na změnu využití stávající kanalizace bude muset být vytvořena nová splašková kanalizace, která ale bude na čistírnu přivádět odpadní vody s mnohem vyšší koncentrací znečištění. Následující výpočty simulují zatížení čistírny nejvyšší možnou koncentrací znečištění, tedy po rekonstrukci kanalizace a bez využití předřazených septiků.

Výpočet nových koncentrací na přítoku

Pro určení nové koncentrace znečištění v přítékající odpadní vodě musí být nejprve provedeno stanovení průtoků. Výpočet průtoků probíhá obdobně jako v kapitole 4.2.1, proto již není uváděn přesný popis jednotlivých členů vzorců, ale pouze vstupní hodnoty a jejich následné dosazení.

Výpočet průměrného denního přítoku podle rovnice 4.1.

$$Q_{24,m} = EO \cdot q_{sp} = 650 \cdot 100 = 65000 \text{ l / den} = 0,75 \text{ l / s}$$

kde q_{sp} specifická produkce odpadních vod volena z (ČSN 75 6402),
100 l/d na EQ

EO počet ekvivalentních obyvatel, 650.

Výpočet předpokládaného množství balastních vod vychází z odhadu podílu balastních vod na celkovém množství přítékající odpadní vody. Podle (Hlavínek, 1996) byl pro případ výstavby nové kanalizace uvažován podíl 15 %.

$$Q_B = Q_{24,m} \cdot 0,15 = 0,75 \cdot 0,15 = 0,11 \text{ l / s}$$

Celkové množství odpadní vody na přítoku lze získat následným součtem balastních vod s průměrným denním přítokem (4.13).

$$Q_{24} = Q_{24,m} + Q_B = 0,75 + 0,11 = 0,86 \text{ l / s} = 74,75 \text{ m}^3 / \text{d} \quad (4.13)$$

kde Q_{24} průměrný bezdeštný denní přítok [m^3/d],

$Q_{24,m}$ průměrný denní přítok, 0,75 l/s,

Q_B přítok balastních vod, 0,11 l/s.

Celkovou produkci znečištění lze učit z rovnice 4.14, přičemž produkci znečištění pro jednotlivé ukazatele vyjadřuje tabulka 4.6.

$$S_i = S_0 \cdot EO \quad (4.14)$$

kde S_i produkce znečištění pro daný ukazatel [g/d],
 S_0 specifická produkce znečištění na EO z (ČSN 75 6402) [g/d·obyv],
 EO počet EO, 650.

Koncentrace znečištění v odpadní vodě na přítoku lze určit z výše vypočtených produkcí znečištění pomocí rovnice 4.15, přičemž výsledné hodnoty uvádí tab. 4.6.

$$c_p = \frac{S_i}{Q_{24}} \quad (4.15)$$

kde c_p koncentrace znečištění na přítoku čistírny [mg/l].

Tab. 4.6 Celkové produkce znečištění a výsledné koncentrace na přítoku

Ukazatel	S_0 [g/d]	S_i [g/d]	c_p [mg/l]
BSK ₅	60	39000	521,7
CHSK _{Cr}	120	78000	1043,5
N _{celk}	11	7150	95,7
P _{celk}	2,5	1625	21,7
NL	55	35750	478,3

Výpočet koncentrace BSK₅ po průtoku prvním filtrem

Výpočet koncentrace po průtoku prvním horizontálním filtrem probíhá obdobně jako v prvním případě. Liší se pouze některé vstupní hodnoty v závislosti na změně parametrů přitékající odpadní vody.

$$c_{o,HF} = e^{\ln c_p - \frac{A \cdot k_{BSK}}{Q_d}} = e^{\ln 391,3 - \frac{1200 \cdot 0,08}{74,8}} = 108,3 \text{ mg/l}$$

kde c_o koncentrace BSK₅ na odtoku z horizontálního filtru [mg/l],
 c_p koncentrace BSK₅ na přítoku snižená o účinnost usazovací nádrže (25 %), 391,3 mg/l,
 A plocha horizontálního filtru, 1200 m²,
 k_{BSK} rychlostní konstanta úbytku znečištění BSK₅ určená z rovnice 4.8, 0,08,
 Q_d průměrný denní přítok, uvažována hodnota průměrného bezdeštného průtoku 74,8 m³/den.

Při známé koncentraci BSK₅ za prvním filtrem lze určit účinnost horizontálního filtru v parametru BSK₅, která činí 72 % (vyšší účin. dána nižším přítokem odpadní vody).

Výpočet koncentrace $CHSK_{Cr}$ za druhým filtrem

Odhad koncentrace za vertikálním filtrem byl proveden z účinností samotného vertikálního filtru, usazovací nádrže a horizontálního filtru v parametru $CHSK_{Cr}$ (4.16). Použité hodnoty účinností jsou převzaty z (ČSN 75 6402).

$$c_{o,VF} = c_p \cdot \frac{(100 - E_{UN}) \cdot (100 - E_{HF}) \cdot (100 - E_{VF})}{100} \quad (4.16)$$

kde $c_{o,VF}$ výstupní koncentrace znečištění $CHSK_{Cr}$ z vertikálního filtru [mg/l],

c_p koncentrace $CHSK_{Cr}$ na přítoku na čistírnu, 1043,5 mg/l,

E_{UN} účinnost usazovací nádrže pro parametr $CHSK_{Cr}$, uvažována 20 %,

E_{HF} účinnost horizontálního filtru pro $CHSK_{Cr}$, uvažována 50 %,

E_{VF} účinnost vertikálního filtru pro $CHSK_{Cr}$, uvažována 98 %.

Po dosazení $c_{o,VF} = 1043,5 \cdot \frac{(100 - 20) \cdot (100 - 50) \cdot (100 - 98)}{100} = 8,35 \text{ mg/l}$

V důsledku provedené rekonstrukce kanalizace došlo ke snížení množství odpadní vody na přítoku vertikálního filtru, proto již není nutné řešit odvádění nadměrného průtoku mimo vertikální filtr. Maximální hydraulické zatížení činí pro danou plochu vertikálního filtru 180 m³/d, zatímco průměrný denní přítok dosahuje hodnoty pouze 75 m³/d.

Výsledná koncentrace znečištění na odtoku bude ovlivněna průtokem posledním horizontálním filtrem, který zajistí vyšší účinnost čistírny, a především odstranění celkového dusíku procesem denitrifikace. Předpokládané výstupní koncentrace c_o uvádí tabulka 4.7, přičemž pro jejich výpočet bylo využito modifikované rovnice 4.16.

Tab. 4.7 Tabulka účinností jednotlivých objektů E v % a průběhu koncentrací c v mg/l

Ukazatel		UN		HF		VF		HF	
	c_p [mg/l]	E_{UN} [%]	$c_{o,UN}$ [mg/l]	E_{HF} [%]	$c_{o,HF}$ [mg/l]	E_{VF} [%]	$c_{o,VF}$ [mg/l]	E_{HF} [%]	c_o [mg/l]
BSK ₅	521,7	25	391,3	72	109,6	98	2,2	65	0,8
$CHSK_{Cr}$	1043,5	20	834,8	50	417,4	98	8,4	50	4,2
N-NH ₄ ⁺	95,7	0	95,7	5	90,9	90	9,1	5	8,6
N _{celk}	95,7	0	95,7	5	90,9	5	86,3	70 ⁷	25,9
P _{celk} ⁸	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0
NL	478,3	45	263,0	85	39,5	90	4,0	85	0,6

⁷ Vliv horizontálního filtru na celkové odstranění dusíku převzat z ÖNORM B 2505:2005-05

⁸ Výsledná hodnota fosforu je dána účinností chemického srážení fosforu

Z výše uváděných hodnot vyplývá, že čistírna bude schopna zajistit nízké hodnoty na odtoku po případné rekonstrukci kanalizace i po přechodu na kanalizaci oddílnou. Samozřejmě se jedná pouze o teoretické hodnoty, které mohou být ovlivněny údržbou a samotným provozem čistírny.

4.2.3 Kalové hospodářství

Jednou ze složek, které obsahují odpadní vody, jsou nerozpuštěné látky. Separace těchto látek z odpadní vody závisí na jejich cíleném zachycení na objektech čistírny. Tímto způsobem dochází k postupné akumulaci zachycených nerozpuštěných látek označovaných jako kal. Po dosažení kapacity objektů sloužících k separaci nerozpuštěných látek musí být kal odstraněn. V tu chvíli se naskytá otázka, jak s tímto produktem dále nakládat. Jednou z možných odpovědí na tuto otázku představuje systém kalového hospodářství, který zajistí snížení objemu kalu odvodněním a zároveň v něm zahubí přítomné patogenní organismy. Takto upravený kal již může podléhat dalšímu využití např. v zemědělství.

Sedimentační procesy probíhající ve stupni mechanického předčištění, přesněji v usazovací nádrži, mají za následek výše zmiňovanou produkci kalu. Produkováný kal se skládá z usazených organických a anorganických nerozpuštěných látek. V současné době obec Machová řeší problém likvidace produkováného kalu tak, že odebraný kal odváží ke zpracování na ČOV v Otrokovicích. Pro snížení nákladů spojených s likvidací kalu bylo navrženo řešení, které umožňuje odvodnění kalu přímo v areálu čistírny. Jedná se o návrh tzv. reed-bed systému.

Reed-bed představuje systém pro odvodnění čistírenských kalů za pomoci mokřadní vegetace. Konstrukčně se navržené řešení skládá z vytvořeného kalového pole, na jehož dně se nachází drenážní potrubí, které zajišťuje odtok zachycené vody z odvodňovaného kalu zpět na linku čistírny. Lepšího odvodnění je dosaženo za pomoci vysazených mokřadních rostlin, které napomáhají odvodnění kalu vypařováním vody do atmosféry. Systém reed-bed zároveň zajišťuje průběh mineralizace kalu, díky které dochází ke snížení obsahu organických látek ve výsledném substrátu. Zároveň dochází k efektivní redukci patogenních bakterií (Najman, 2012).

Celkový návrh plochy reed-bed systému činí 300 m² a vychází z hodnot uváděných v (ČSN 75 6402), které byly použity k výpočtu v rovnici 4.17.

$$A_{R-B} = \frac{EO}{A_{spec}} \quad (4.17)$$

kde A_{R-B} celková plocha reed-bed systému [m²],

A_{spec} počet EO na 1 m², (ČSN 75 6402) udává hodnotu 2-3 EO/m²,

EO předpokládaný počet připojených ekvivalentních obyvatel, 800.

$$\text{Po dosazení } A_{R-B} = \frac{800}{2,65} = 300 \text{ m}^2$$

Počet obyvatel byl volen s přihlédnutím k případnému růstu obce a potencionálnímu navýšení počtu obyvatel. Zároveň určitou rezervu představuje i hodnota specifické plochy A_{spec} , která činí 2,65 EO/m², přičemž (ČSN 75 6402) jako maximální hodnotu specifické plochy uvádí 3 EO/m². Podrobnější výpočty a návrhové hodnoty jsou uvedeny v souhrnné technické zprávě, která je součástí příloh bakalářské práce. Z řešených výpočtů je možné uvést celkovou kapacitu systému, který by měl zajistit účinné odvodnění vyprodukovaného kalu za dobu 15 let.

5 ZÁVĚR

Kořenové čistírny odpadních vod představují ekologický a přírodě blízký způsob čištění odpadní vody. Mezi jejich největší přednosti oproti běžným aktivačním čistírnám patří schopnost vypořádat se s nízkou koncentrací znečištění na přítoku, nízké provozní náklady a relativně nenáročná údržba. Na druhou stranu v uváděném porovnání lze jako značnou nevýhodu chápat vysoký zábor plochy, který je spojen s vytvořením filtračních polí. Díky tomuto faktu nemůže technologie kořenových čistíren konkurovat klasickým aktivačním čistírnám při odstranění znečištění od velkých producentů, typu měst nad 20000 obyvatel, ale může představovat vhodné řešení pro producenty malé a středně velké.

Současná situace kořenových čistíren v České republice je taková, že většina kořenových čistíren slouží jako čistírna domovní nebo jako čistírna pro zdroj znečištění o velikosti do 500 EO. Zároveň většina z uváděných obecních čistíren pochází z přelomu tisíciletí, kdy jako hlavní čistící stupeň byl používán výhradně horizontální kořenový filtr. Řešení využívající princip horizontálních filtrů ve spojení se stářím celého systému a mnohdy zanedbávanou údržbou již není schopné zajistit splnění současně platných emisních standardů.

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval způsobem intenzifikace kořenové čistírny v obci Machová, kterou lze zařadit do výše zmiňované kategorie čistíren. První část práce je zaměřena na vytvoření literární rešerše, která se zabývá samotným návrhem kořenových čistíren a procesy odstraňujícími znečištění z odpadní vody. Dále je zde podrobně popsán vliv objektů mechanického předčištění na udržitelný provoz čistírny, přičemž správným návrhem stupně předčištění lze docílit minimalizace procesu kolmatace následujících kořenových filtrů. Co se týče kořenových filtrů, tak jsou zde charakterizovány jak v současnosti nejběžnější horizontální filtry, tak i filtry vertikální, jejichž přirozené prostředí dokáže přispět k vyšším účinnostem čistírny, a to převážně v ukazateli N-NH_4^+ . Navazující kapitoly pojednávají o ukazatelích znečištění, které jsou využívány pro hodnocení kvality odpadní vody, a biochemických procesech podílejících se na odstranění celkového dusíku a fosforu. Ze zpracovaných kapitol vyplývá, že nejvýraznější podíl na odstranění dusíku z odpadní vody mají procesy nitrifikace a denitrifikace. Zároveň není možné dosáhnout zajištění účinného odstranění fosforu pouze s využitím přirozených procesů probíhajících v kořenových čistírnách a je nutno přistoupit k řešení založenému na chemickém srážení fosforu.

Druhá část práce navazuje na provedenou literární rešerši, kdy zjištěné poznatky jsou aplikovány na případě kořenové čistírny v obci Machová. Čistírna se potýká s nízkými účinnostmi především při odstranění N-NH_4^+ . Nízká účinnost odstranění N-NH_4^+ vyplývá z celkového řešení, které je navrženo na principu horizontálních

kořenových filtrů. Z tohoto důvodu je navrhovaná úprava zaměřena na zařazení vertikálního filtru do provozního schéma čistírny tak, aby bylo možné zajistit dostatečnou dodávku kyslíku především pro oxidaci N-NH_4^+ . Zároveň návrh úpravy uvažuje se změnou zapojení jednotlivých filtračních polí z paralelního na sériové, čímž bude zajištěna vyšší účinnost čistírny pro všechny ukazatele znečištění. Z důvodu předpokládajícího se zpříšňování legislativních požadavků na kvality vypouštěných odpadních vod do vodních toků bylo řešeno i chemické srážení fosforu, ačkoliv v současné době hodnota celkového fosforu na odtoku sledována není. Z důvodu extrémně nízkých koncentrací znečištění na přítoku, které jsou zapříčiněny předřazenými septiky a špatným stavem kanalizace, byl proveden i alternativní výpočet, který uvažuje s rekonstrukcí kanalizace a zvýšením koncentrací znečištění v odpadní vodě. Z výpočtu vyplývá, že upravená čistírna bude schopna plnit stanovené emisní limity i při případném zvýšení koncentrací znečištění v odpadní vodě.

Vzhledem k tomu, že čistírna nemá řešeno nakládání s vyprodukovanými kaly a v současné době obec zajišťuje jejich zpracování v procesu kalového hospodářství ČOV v Otrokovicích, byl navržen systém reed-bed, který zajišťuje uložení a odvodnění kalů v areálu čistírny.

Práce měla za cíl nejen vytvoření samotné studie intenzifikace, ale také projektové dokumentace, která by následně mohla být použita pro udělení stavebního povolení. Z tohoto důvodu je součástí práce textová a výkresová část dokumentace, která upřesňuje navrhovanou úpravu právě do podrobnosti dokumentace pro stavební povolení.

Závěrem lze uvést, že velká část kořenových čistíren sloužících k čištění komunální odpadní vody je navržena obdobným způsobem jako ta v Machové. Z tohoto důvodu může zpracovaná studie posloužit jako příklad možného řešení problémů, se kterými se výše zmiňované čistírny v současné době potýkají. Zároveň předpokládám, že vypracovaná projektová dokumentace poslouží obci Machová k získání stavebního povolení a následná realizace navrhovaných úprav povede k reálnému snížení koncentrací znečištění ve vyčištěné vodě na odtoku, a tím pádem i ke zlepšení kvality vody v potoku Machovka.

6 POUŽITÁ LITERATURA

ATELIER .B. ING. ARCH. T. BERGMANNOVÁ, , 2013. *Územní plán Machová: Odůvodnění, příloha č. 3*. Zlín. Dostupné také z: <http://www.obecmachova.cz/obecni-urad/uzemni-plan-obce/>

ČSN 75 6261, 2004. *Dešťové nádrže*. Praha: Český normalizační institut.

ČSN 75 6401, 2006. *Čistírny odpadních vod nad 500 ekvivalentních obyvatel*. Praha: Český normalizační institut.

ČSN 75 6402, 2017. *Čistírny odpadních vod do 500 ekvivalentních obyvatel*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

DOTRO, Gabriela, Günter LANGERGRABER, Pascal MOLLE, Jaime NIVALA, Jaume PUIGAGUT, Otto STEIN a Marcos VON SPERLING, 2017. *Biological Wastewater Treatment Series: Volume 7: Treatment Wetlands* [online]. London: IWA Publishing [cit. 2018-03-25]. ISBN 9781780408774. Dostupné z: 10.2166/9781780408774

GRODA, Bořivoj, Tomáš VÍTĚZ, Martin MACHALA, Jan FOLLER, David SURÝNEK a Jaromír MUSIL, 2007. *Čištění odpadních vod jako nástroj k ochraně životního prostředí v zemědělské praxi a na venkově* [online]. Brno [cit. 2018-04-07]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/26962/cistení_odpadnich_vod.pdf. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.

HLAVÍNEK, Petr a Jiří HLAVÁČEK, 1996. *Čištění odpadních vod: Praktické příklady výpočtů*. První. Brno: NOEL 2000. ISBN 80-86020-0-2.

HLAVÍNEK, Petr, Jan MIČÍN a Petr PRAX, 2003. *Stokování a čištění odpadních vod*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 253 s. ISBN 80-214-2535-0.

HLUŠTÍK, Petr, Ivo KORYTÁŘ, Stanislav MALANÍK a Petr HLAVÍNEK, 2017. Eliminace zápachu ze stokové sítě. *Vodovod.info - vodárenský informační portál* [online]. 092017 [cit. 2018-05-05]. Dostupné z: <http://vodovod.info>. ISSN 1804-7157

Charakteristika obce Machová, 2018. *Obec Machová* [online]. Galileo Corporation [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.obecmachova.cz/o-obci/charakteristika/>

KRIŠKA, Michal a Miroslava NĚMCOVÁ, 2015. *Kořenové čistírny odpadních vod: Metodická příručka pro povolování, návrh, realizaci a provoz*. Brno: Vysoké učení technické v Brně.

LIU, Huaqing, Zhen HU, Jian ZHANG et al., 2016. Optimizations on supply and distribution of dissolved oxygen in constructed wetlands: A review. *Bioresource Technology*. 214, 797-805. ISSN 0960-8524.

Machová, 2017. *Regionální informační servis* [online]. Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj [cit. 2018-05-02]. Dostupné z: <http://www.risy.cz/cs/vyhledavace/obce/detail?Zuj=585491>

NAJMAN, Michal, Luboš BÁRTA a Petra NAJMANOVÁ, 2012. Odvodnění a redukce objemu čistírenských kalů pomocí kořenových systémů. *Biom.cz* [online]. 2012-01-03 [cit. 2018-05-16]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/odvodneni-a-redukce-objemu-cistirenskych-kalu-pomoci-korenovych-systemu>

NĚMCOVÁ, Miroslava a Michal KRIŠKA, 2016. Kořenové čistírny - rekapitulace a budoucnost v České republice. *Vodní hospodářství*. ISSN 1211-0760.

ROZKOŠNÝ, Miloš, Hana HUDCOVÁ, Miroslav PLOTĚNÝ, Radek NOVOTNÝ a Jana MATYSÍKOVÁ, 2015. Kvalita kalů a odpadů z domovních a malých ČOV a možnosti jejich využití v zemědělství. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*. 57(6), 44–49. ISSN 0322-8916.

SAEED, Tanveer a Guangzhi SUN, 2012. A review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: Dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. *Journal of Environmental Management*. 112, 429-448. ISSN 0301-4797.

VYMAZAL, Jan, 2004. *Kořenové čistírny odpadních vod*. Třeboň: ENKI.

VYMAZAL, Jan, 2007. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of The Total Environment*. 380(1–3), 48-65. ISSN 0048-9697.

VYMAZAL, Jan, 2016. *KOŘENOVÉČISTÍRNY ODPADNÍCH VOD: Využití ve světě, České republice a Plzeňském kraji* [online]. Plzeň: Krajský úřad Plzeňského kraje, odbor životního prostředí [cit. 2018-03-30]. Dostupné z: <http://docplayer.cz/19042760-Korenove-cistirny-odpadnich-vod.html>

VYMAZAL, Jan, 2018. Does clogging affect long-term removal of organics and suspended solids in gravel-based horizontal subsurface flow constructed wetlands?. *Chemical Engineering Journal*. 331, 663-674. ISSN 1385-8947.

WANG, Mo, Dong Qing ZHANG, Jian Wen DONG a Soon Keat TAN, 2017. Constructed wetlands for wastewater treatment in cold climate — A review. *Journal of Environmental Sciences*. 57, 293-311. ISSN 1001-0742.

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Hodnoty teoretické střední doby zdržení a hydraulického zatížení plochy v usazovacím prostoru štěrbínové nádrže (ČSN 75 6402).....	22
Tab. 3.2 Účinnost horizontálních kořenových filtrů v % dle (ČSN 75 6402) a (Dotro, 2017)	29
Tab. 3.3 Jednotlivé vrstvy vertikálního filtru (ČSN 75 6402).....	32
Tab. 3.4 Účinnost vertikálního filtru v % podle (ČSN 75 6402) a (Dotro, 2017).....	33
Tab. 4.1 Průměrné hodnoty přítoku na čistírnu.....	49
Tab. 4.2 Koncentrace znečištění na přítoku v letech 2011-2013, hodnoty uváděny v mg/l	49
Tab. 4.3 Vliv septiků na výslednou koncentraci znečištění v odpadní vodě.....	52
Tab. 4.4 Průměrná účinnost čistírny určená z naměřených hodnot v rozmezí let 2011-2013	54
Tab. 4.5 Výsledné koncentrace na odtoku a účinnost čistírny po úpravě.....	60
Tab. 4.6 Celkové produkce znečištění a výsledné koncentrace na přítoku.....	62
Tab. 4.7 Tabulka účinností jednotlivých objektů E v % a průběhu koncentrací c v mg/l	63

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozdělení umělých mokřadů (Vymazal, 2004).....	13
Obr. 2 Horizontální filtrační pole kořenové čistírny v obci Machová	15
Obr. 3 Typické schéma kořenové čistírny (jednotná kanalizace): odlehčovací komora (OK), hrubé česle (HČ), lapák písku (LP), horizontální (HFK) a vertikální (VKF) kořenové filtry.	16
Obr. 4 Odlehčovací komora s bočním přelivem oboustranným (Křiška, 2015).....	17
Obr. 5 Dešťová nádrž v obci Machová	18
Obr. 6 Ručně stírané česle v sestavě s lapákem písku v obci Machová.....	19
Obr. 7 Schéma šterbinové usazovací nádrže: vyhnívací prostor (1), usazovací prostor (2), šikmé norné stěny (3), šterbina (4).	22
Obr. 8 Typické konstrukční řešení horizontálního kořenového filtru: rozvodná zóna (1), hlavní filtrační část (2), sběrná zóna (3), sběrná šachta (4), vegetace (5) (Dotro, 2017).	27
Obr. 9 Detail sběrné šachty za horizontálním filtrem (Dotro, 2017)	28
Obr. 10 Vertikální filtrační pole s tloušťkou jednotlivých vrstev v mm, schéma převzato od (Dotro, 2017) a doplněno o hodnoty z (ČSN 75 6402).....	31
Obr. 11 Průběh dusíku v závislosti na prostředí vertikálního a horizontálního filtru (Křiška, 2015)	40
Obr. 12 Koloběh dusíku v kořenových čistírnách (Saeed, 2012).....	42
Obr. 13 Umístění kořenové čistírny v měřítku 1:10000.....	46
Obr. 14 Schéma současného zapojení jednotlivých objektů.....	47
Obr. 15 Objekty KČOV Machová, vlevo odlehčovací komora, vpravo usazovací nádrž	48
Obr. 16 Graf průměrné koncentrace znečištění na odtoku za rok 2017	53
Obr. 17 Schématické znázornění rozložení kalu na ploše 1. filtru (vlevo), 2. a 3. filtr (vpravo).....	54
Obr. 18 Šachta poškozená síranovou korozí (vlevo) a vypouštěné odpadní vody (vpravo).....	55
Obr. 19 Schéma nového zapojení filtračních polí, horizontální kořenový filtr (HKF), vertikální kořenový filtr (VKF)	55
Obr. 20 Graf účinnosti upravené čistírny	60

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČOV	čistírna odpadních vod
KČOV	kořenová čistírna odpadních vod
UN	usazovací nádrž
HKF	horizontální kořenový filtr
VKF	vertikální kořenový filtr
EO	ekvivalentní obyvatel
BSK ₅	biochemická spotřeba kyslíku
CHSK _{Cr}	chemická spotřeba kyslíku
NL	nerozpuštěné látky
N _{celk}	celkový dusík
P _{celk}	celkový fosfor

SEZNAM PŘÍLOH

1. Průvodní a souhrnná technická zpráva	
2. Situační výkres širších vztahů	M 1:5000
3. Katastrální situační výkres	M 1:500
4. Koordinační situační výkres	M 1:200
5. Půdorys – stávající filtrační pole č. 2	M 1:200
6. Půdorys – příprava filtračního pole č. 2	M 1:200
7. Půdorys – potrubní rozvody	M 1:200
8. Zapojení potrubních rozvodů	M 1:200
9. Řez A-A' – filtrační pole č. 2	M 1:100
10. Řez B-B' – filtrační pole č. 2	M 1:100
11. Řez C-C' – filtrační pole č. 2	M 1:100
12. Řez D-D' – filtrační pole č. 2	M 1:100
13. Půdorys – reed-bed kalové hospodářství	M 1:100
14. Řez – reed-bed kalové hospodářství	M 1:50
15. Rozdělovací šachta RŠ 1	M 1:25
16. Rozdělovací šachta RŠ 2	M 1:25
17. Rozdělovací šachta RŠ 3	M 1:25
18. Rozdělovací šachta RŠ 4	M 1:25
19. Rozdělovací šachta RŠ 5	M 1:25
20. Rozdělovací šachta RŠ 6	M 1:25
21. Rozdělovací šachta RŠ 7	M 1:25

PŘÍLOHA Č. 1

ČOV Machová

Intenzifikace čistírny s řešením kalového
hospodářství

Projektová dokumentace pro stavební povolení

05/2018

Obsah

A. PRŮVODNÍ ZPRÁVA	3
A.1 Identifikační údaje	3
A.1.1 Údaje o stavbě.....	3
A.1.2 Údaje o stavebníkovi	3
A.1.3 Údaje o zpracovateli projektové dokumentace	3
A.2 Členění stavby na objekty a technická a technologická zařízení	4
A.3 Seznam vstupních podkladů	4
B. SOUHRNNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA	5
B.1 Popis území stavby	5
B.2 Celkový popis stavby	7
B.2.1 Základní charakteristika stavby a jejího užívání	7
B.2.2 Celkové urbanistické a architektonické řešení	10
B.2.3 Celkové provozní řešení, technologie výroby	11
B.2.4 Bezbariérové užívání stavby.....	13
B.2.5 Bezpečnost při užívání stavby.....	13
B.2.6 Základní charakteristika objektů	13
B.2.7 Základní charakteristika technických a technologických zařízení	17
B.2.8 Zásady požárně bezpečnostního řešení.....	19
B.2.9 Úspora energie a tepelná ochrana.....	20
B.2.10 Hygienické požadavky na stavby, požadavky na pracovní a komunální prostředí	20
B.2.11 Zásady ochrany stavby před negativními účinky vnějšího prostředí.....	20
B.3 Připojení na technickou infrastrukturu	21
B.4 Dopravní řešení.....	21
B.5 Řešení vegetace a souvisejících terénních úprav.....	22
B.6 Popis vlivů stavby na životní prostředí a jeho ochrana	22
B.7 Ochrana obyvatelstva.....	23
B.8 Zásady organizace výstavby	23
B.9 Celkové vodohospodářské řešení.....	27

A. PRŮVODNÍ ZPRÁVA

A.1 IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

A.1.1 Údaje o stavbě

a) Název stavby

Intenzifikace kořenové čistírny pro obec Machová.

b) Místo stavby

Adresa: ČOV Machová, bez č.p.

Kraj: Jihomoravský kraj

Katastrální území: Machová 689882

Parcelní čísla: p. č. 724, 727 a 729

c) Předmět projektové dokumentace - nová stavba nebo změna dokončené stavby, trvalá nebo dočasná stavba, účel užívání stavby

Dokumentace je zpracována ve stupni projektové dokumentace pro stavební povolení. Jedná se o změnu dokončené stavby ČOV v obci Machová. Stavba je trvalá.

Účelem úpravy je zlepšení účinnosti stávající kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) a řešení kalového hospodářství v areálu čistírny. Stavba řeší nakládání s odpadními vodami.

A.1.2 Údaje o stavebníkovi

Investor: Obec Machová

Machová 120

736 01 Mysločovice

IČ 00568651

A.1.3 Údaje o zpracovateli projektové dokumentace

Zpracovatel: Ondřej Zedník

Autorizovaný inženýr: -

A.2 ČLENĚNÍ STAVBY NA OBJEKTY A TECHNICKÁ A TECHNOLOGICKÁ ZAŘÍZENÍ

Navrhovaná úprava není členěna na objekty a technologická zařízení.

A.3 SEZNAM VSTUPNÍCH PODKLADŮ

Pro zpracování dokumentace byly použity následující podklady:

- archivní projektová dokumentace,
- katastrální mapa,
- fotodokumentace a místní šetření,
- chemické rozborů odpadní vody za minulá období,
- platné normy a současná legislativa.

B. SOUHRNNÁ TECHNICKÁ ZPRÁVA

B.1 POPIS ÚZEMÍ STAVBY

- a) **Charakteristika území a stavebního pozemku, zastavěné území a nezastavěné území, soulad navrhované stavby s charakterem území, dosavadní využití a zastavěnost území**

Stavba se nachází na plochách technické infrastruktury ve vlastnictví obce Machová. V současné době je zde vybudována a provozována ČOV, v jejímž okolí je vymezeno zastavěné území. Pozemek, který bude využit pro zřízení kalového hospodářství je veden jako trvalý travní porost a leží mimo zastavěné území. Soulad stavby s charakterem území nebude narušen, úprava zahrnuje vytvoření kalového pole a změnu 2. filtračního pole.

- b) **Údaje o souladu s územním rozhodnutím nebo regulačním plánem nebo veřejnoprávní smlouvou územní rozhodnutí nahrazující anebo územním souhlasem**

Stavba vyžaduje územní řízení. Větší část záměru se týká úpravy stávajících technologických prvků čistírny, což je v souladu s územním plánem obce. Nicméně oproti současnému stavu bude dobudováno vlastní kalové hospodářství, založené na technologii reed-bed, čímž dojde k záboru sousedního pozemku.

- c) **Údaje o souladu s územně plánovací dokumentací, v případě stavebních úprav podmiňujících změnu v užívání stavby**

Stavba je v souladu s platnou územně plánovací dokumentací a jejím cílem řešit technickou infrastrukturu obce s ohledem na její předpokládaný rozvoj. Stavba se nachází na plochách vymezených pro technickou infrastrukturu. Stavební úpravy a výstavba kalového hospodářství nepodmiňuje změnu užívání stavby.

- d) **Informace o vydaných rozhodnutích o povolení výjimky z obecných požadavků na využívání území**

Výjimky z obecných požadavků na využívání území nejsou vyžadovány.

- e) **Informace o tom, zda a v jakých částech dokumentace jsou zohledněny podmínky závazných stanovisek dotčených orgánů**

V době zpracování projektové dokumentace nejsou stanoveny žádné požadavky dotčených orgánů. Nově vzniklé požadavky budou v dokumentaci zpracovány a splněny.

- f) Výčet a závěry provedených průzkumů a rozborů - geologický průzkum, hydrogeologický průzkum, stavebně historický průzkum apod.**

Nebyly prováděny žádné průzkumy.

- g) Ochrana území podle jiných právních předpisů**

Území není chráněno podle jiných právních předpisů.

- h) Poloha vzhledem k záplavovému území, poddolovanému území apod.**

Řešené území se nenachází v záplavovém ani poddolovaném území.

- i) Vliv stavby na okolní stavby a pozemky, ochrana okolí, vliv stavby na odtokové poměry v území**

Pozemky stavby sousedí se smíšenými plochami nezastavěného území, na které nemají vliv. Navrhovaná úprava nenarušuje stávající odtokové poměry v území.

- j) Požadavky na asanace, demolice, kácení dřevin**

Nebyly stanoveny požadavky na asanace či kácení dřevin. V závislosti na výstavbě kalového pole bude nutné zajistit proříznutí stávajícího asfaltového povrchu manipulačních prostor.

- k) Požadavky na maximální dočasné a trvalé zábory zemědělského půdního fondu nebo pozemků určených k plnění funkce lesa**

Výstavbou kalového hospodářství vzniká požadavek na trvalý zábor zemědělského půdního fondu na pozemku č. 727.

- l) Územně technické podmínky - zejména možnost napojení na stávající dopravní a technickou infrastrukturu, možnost bezbariérového přístupu k navrhované stavbě**

Areál ČOV je napojen na stávající dopravní infrastrukturu účelovou komunikací. Připojení na technickou infrastrukturu není návrhem ovlivněno. Stavba je napojena na stávající jednotnou kanalizaci, která ústí v šachtě Š1 a dále na el. vedení nízkého napětí (NN).

Z charakteru stavby ČOV nevyplývá požadavek na bezbariérové řešení.

- m) Věcné a časové vazby stavby, podmiňující, vyvolané, související investice**

Stavbu je doporučeno realizovat v jarních měsících, případně na podzim. Se stavbou souvisí výsadba mokřadních rostlin, jejichž výsadbu je vhodné provést na jaře, nejpozději v září. Stavba nevyvolává žádné podmiňující ani související investice.

n) Seznam pozemků podle katastru nemovitostí, na kterých se stavba provádí

Informace o pozemcích:

Parcelní číslo	Výměra [m ²]	Způsob využití	Vlastnické právo
724	655	Manipulační plocha	Obec Machová
729	6139	Jiná plocha	Obec Machová
727	3837	Trvalý travní porost	Obec Machová

o) Seznam pozemků podle katastru nemovitostí, na kterých vznikne ochranné nebo bezpečnostní pásmo

Ochranné pásmo nevzniká.

B.2 CELKOVÝ POPIS STAVBY

B.2.1 Základní charakteristika stavby a jejího užívání

- a) Nová stavba nebo změna dokončené stavby; u změny stavby údaje o jejích současném stavu, závěry stavebně technického, případně stavebně historického průzkumu a výsledky statického posouzení nosných konstrukcí

Jedná se z větší části o změnu dokončené stavby. Novou stavbou bude pouze výstavba kalového hospodářství založeného na systému reed-bed. Stávající čistírna odpadních vod (ČOV) je v provozu od roku 1998, přičemž od té doby neprošla žádnou úpravou. V současnosti je ČOV napojena na stávající jednotnou kanalizaci přírodním potrubím DN 300, které je zaústěno před objektem ČOV v šachtě Š1. Čistírna se sestává z mechanického předčištění a hlavního stupně čištění – filtračních polí. Předčištění je složeno ze sestavy česlí a lapáku písku, za kterým následuje odlehčovací komora, která odvádí nadměrné průtoky (zejména za deště nebo při silném tání sněhové pokrývky) do dešťové nádrže. Odtok z dešťové nádrže je zaústěn do potoku Machovka. Za odlehčovací nádrží dochází ke snížení světlosti potrubí z DN 300 na DN 200. Jako navazující součást mechanického stupně čištění je řazena šterbinová usazovací nádrž, která zajišťuje sedimentaci nerozpuštěných látek (NL). Z této nádrže je odpadní voda přivedena do rozdělovací šachty RŠ-1, odkud se voda rozvádí potrubím DN 200 do první rozdělovací šachty před samotnými filtračními poli. Šachta RŠ-1 slouží zejména pro krizové situace, kdy je potřeba vodu nepřevádět na filtrační pole.

Hlavní stupeň čištění je složen ze 3 horizontálních filtrů, každý o ploše 1200 m², které jsou zapojeny paralelně (každým filtrem protéká třetina odpadní vody). Horizontální filtry se vyznačují silně anaerobním prostředím, čímž nedochází k dostatečnému odstranění amoniakálního dusíku (N-NH₄⁺). Z jednotlivých šachet

před filtračními poli je vyvedeno děrované potrubí PVC DN 150, které zásobuje filtr odpadní vodou. Toto potrubí je uloženo na povrchu a ve dně filtru. Voda filtračním polem protéká horizontálně a po jeho protečení je zachytávána sběrným děrovaným potrubím PVC DN 200 a odvedena do recipientu (potok Machovka).

V areálu mechanického předčištění se nachází provozní objekt, který je zásobován užitkovou vodou z vlastní studny. Odpadní vody z objektu jsou zaústěny na linku čistírny před hrubé česle. Manipulační plocha je zpevněna asfaltovým povrchem a areál mechanického předčištění včetně dešťové nádrže je oplocen.

b) Účel užívání stavby

Účelem úpravy je zlepšení účinnosti stávající kořenové čistírny odpadních vod (KČOV) a řešení kalového hospodářství v areálu čistírny. Stavba je užívána jako objekt pro nakládání s odpadními vodami. Návrhem úpravy 2. filtračního pole nebude účel stavby negativně ovlivněn, naopak dojde ke snížení množství vypouštěného znečištění do vodního recipientu.

c) Trvalá nebo dočasná stavba

Jedná se o stavbu trvalou, resp. intenzifikace bude provedena na již stávajícím filtračním poli č. 2 a bude se stávajícím filtračním polem pevně spojena. Nově bude vybudováno kalové hospodářství, které bude stavbou novou, taktéž trvalou.

d) Informace o vydaných rozhodnutích o povolení výjimky z technických požadavků na stavby a technických požadavků zabezpečujících bezbariérové užívání stavby

Stavba nevyžaduje výjimku z technických požadavků na stavby. Z důvodu omezené přístupnosti veřejnosti do areálu ČOV není řešeno bezbariérové užívání stavby.

e) Informace o tom, zda a v jakých částech dokumentace jsou zohledněny podmínky závazných stanovisek dotčených orgánů

V současné době nejsou známy žádné požadavky dotčených orgánů. Pokud požadavky vzniknou na základě předběžného vyjádření k záměru, budou vzniklé požadavky v projektové dokumentaci zapracovány a dodrženy v plném rozsahu.

f) Ochrana stavby podle jiných právních předpisů

Stavba nevyžaduje zvláštní ochranu dle jiných právních předpisů. Areál bude oplocen a opatřen upozorněním o omezení přístupu.

g) Navrhované parametry stavby - zastavěná plocha, obestavěný prostor, užitná plocha, počet funkčních jednotek a jejich velikosti apod.

Úprava režimu proudění ve druhém filtračním poli nemá vliv na změnu původní zastavěné plochy. Zastavěná plocha bude zvětšena o rozměry kalového pole. ČOV

vyžaduje pravidelnou údržbu, která bude zajištěna zaškoleným pracovníkem obce Machová.

Celková plocha filtračních polí: 3600 m²

Plocha upravovaného filtračního pole: 1200 m²

Plocha nově zabrané plochy kalovým polem: 380 m²

h) Základní bilance stavby - potřeby a spotřeby médií a hmot, hospodaření s dešťovou vodou, celkové produkované množství a druhy odpadů a emisí, třída energetické náročnosti budov apod.

Potřeba vody nebude úpravou stávající stavby nijak ovlivněna. Pro samotnou realizaci stavby dojde k minimálnímu navýšení spotřeby vody, technologie stavby nevyžaduje přívod vody. V současné době je provozní objekt zásobován vodou ze studny v areálu ČOV. Produkované odpadní vody z provozního objektu jsou odváděny odpadním potrubím na ČOV před česle a lapák písku. Hospodaření s dešťovou vodou navrhovaný záměr neovlivní.

Navrhovanou úpravou dojde ke snížení výsledných koncentrací znečištění na odtoku z ČOV do recipientu. V současné době je průměrný odtok z čistírny 2,5 l/s, přičemž se předpokládá nárůst množství odpadních vod v souvislosti s novou výstavbou v obci. V případě potenciálního přebudování stávající jednotné kanalizace na splaškovou naopak dojde ke snížení množství vypouštěných vod. Současně se snížením množství vod dojde k navýšení vstupních koncentrací. Technologie a intenzifikace je navržena tak, že i v případě napojení na čistě splaškovou kanalizaci budou garantované odtokové parametry konstantní a dlouhodobě udržitelné.

Garantované koncentrace na odtoku v mg/l:

Ukazatel znečištění	p	m
BSK ₅	10	20
CHSK	45	70
NL	10	15
	prům.	m
N-NH ₄ ⁺	10	20
P _c	2	5

i) Základní předpoklady výstavby - časové údaje o realizaci stavby, členění na etapy

Datum zahájení výstavby je závislé na získání finančních prostředků obce z dotačních programů. Rekonstrukce 2. filtračního pole zahrnuje odstranění rostlin z povrchu filtru, následně proběhne sejmutí vrstvy kolmatantu nad úrovní filtračního materiálu. Následně bude shrnuta svrchní vrstva filtračního materiálu do hloubky 10 cm, přičemž z této vrstvy budou vytvořeny podkladní hráze pod akumulčně-dávkovací šachty. Na čistý filtrační materiál (po sejmutí svrchní vrstvy) bude položeno aerační potrubí a následně vrstven nový substrát dle PD. Před navezením substrátu budou vytvořeny hráze pod tři akumulčně-dávkovací šachty typu AS-VERTI 4, podle PD. Z těchto šachet bude vedeno rozvodné a distribuční potrubí dle PD. V poslední fázi výstavby bude filtr osazen mokřadními rostlinami. Před uvedením do provozu bude spuštěn zkušební provoz zahrnující seřízení vypouštěcích objektů, případně časovačů před čerpadly, upravení výšek bezpečnostních přelivů apod. Před rekonstrukcí filtračního pole proběhne úprava rozvodných a sběrných šachet dle kapitoly 2.3. Samostatnou etapu tvoří doplnění provozní linky o chemické srážení fosforu.

Výstavba kalového hospodářství může být prováděna nezávisle ostatních fází úpravy.

j) Orientační náklady stavby

Předpokládané náklady stavby činí přibližně 1,6 mil. Kč.

B.2.2 Celkové urbanistické a architektonické řešení

a) Urbanismus - územní regulace, kompozice prostorového řešení

ČOV se nenachází v blízkosti zastavěného území obce a neovlivňuje tedy urbanistickou koncepci obce Machová. Návrh předpokládá úpravu prostorového řešení, ke které dojde výstavbou kalového pole v prostoru mechanického předčištění. Úpravou 2. filtračního pole nebude prostorové řešení ovlivněno. Dojde pouze k navýšení úrovně původního substrátu o 70 cm a osazení 3 dávkovacích šachet AS-VERTI 4. Filtrační pole bude po úpravě osázeno mokřadními rostlinami, po třech vegetačních obdobích bude vizuálně působit čistírna stávajícím dojmem (šachty AS-VERTI 4 budou téměř celé po obvodu zakryté vzrostlou vegetací).

b) Architektonické řešení - kompozice tvarového řešení, materiálové a barevné řešení

Kompozice tvarového řešení úpravy filtračního pole č. 2 bude vycházet ze současného půdorysného uspořádání „obdélníkového“ tvaru. Tři šachty budou vyvýšeny o 2,6 metru nad upravenou úroveň nového filtračního materiálu,

nicméně přibližně po třech letech nebudou vzhledem k postupně houstnoucí doprovodné vegetaci tolik dominovat, resp. mokřadní rostliny budou dosahovat vyššího vzrůstu než je max. úroveň horní hrany šachty.

Povrch filtračního materiálu bude osazen distribučním potrubím, které bude viditelné pouze během první vegetační sezóny, následně bude kryté prostřednictvím nadzemních částí rostlin. Během provozování bude potrubí viditelné max. v období mezi pokosením starých rostlin a vzrůstem nových rostlin.

Filtrační pole bude zachovávat ráz čistírny – doprovodná vegetace bude tvořit stěžejní materiálový a pohledový charakter stavby.

Součástí intenzifikace je úprava většiny rozdělovacích šachet, přičemž je z pohledu bezpečnosti doporučeno upravit krytí šachet - nově prostřednictvím dřevoplastových desek (barevné provedení – imitace kamene, dřeva nebo dřevěné kůry).

Nová stavba – kalové pole na základě technologie reed-bed, bude umístěno na pozemcích č. 724 (200 m²) a č. 727 (180 m²). Kompozičně bude stavba z jedné strany navazovat na stávající oplocení areálu, ke kterému bude následně doplněno oplocení kalového pole. Tvarové řešení vychází z požadavků investora a bude zahrnovat zachování asfaltové komunikace a technického přístřešku. Principem stavby je mělký izolovaný výkop (pouze sejmutí ornice), na jehož okraji budou poskládány po obvodu pískové vaky (s příměsí travního semene). Výška vaků bude na konci životnosti objektu přibližně 2,0 metru. Při realizaci budou vaky navýšeny max. na 80 cm výšky po celém obvodu reed-bed systému.

B.2.3 Celkové provozní řešení, technologie výroby

Navrhované provozní řešení se skládá z několika samostatných částí:

- úprava 2. filtračního pole,
- realizace kalového pole (reed-bed) navazujícího na prostor mechanického předčištění,
- sanace stávajících rozdělovacích šachet,
- realizace technologické linky na srážení celkového fosforu.

Úprava 2. filtračního pole

Současná filtrační pole jsou provozována jako horizontální s kontinuálním přítokem, čímž vzniká v celém filtru anaerobní prostředí a dochází k rozkladu organických látek za vzniku bioplynu a sirovodíku. Sirovodík způsobuje značné problémy ve sběrných šachtách, které odvádí vodu z filtrů. Stávající šachty jsou betonové a značně zkorodované. Zasiření odtoku se následně projevuje i na výusti

vody z čistírny. Vyčištěná voda je zakalená a zapáchá. Současně také stávající uspořádání neumožňuje účinné odstranění N-NH_4^+ . Tyto problémy by měla vyřešit změna proudění ve 2. filtračním poli z horizontálního na vertikální. Vertikální pole se vyznačuje aerobním prostředím, vysokou účinností (vnosem kyslíku), vysokou filtrační schopností (jemný filtrační materiál) a při správném provozování (zabránění vnosu kalových částic) také dlouhodobou životnost. Intenzivním provzdušněním filtru se zajistí vhodné podmínky pro odstranění N-NH_4^+ a zároveň také nebude docházet k nadměrné produkci bioplynu (sirovodík, amoniak, metan). Změna proudění z horizontálního na vertikální vyžaduje úpravu stávajících rozdělovacích šachet, kdy z šachty před filtrem RŠ-5 bude OV čerpána do tří nově realizovaných nádrží AS-VERTI 4, které budou umístěny nad úrovní nově vrstveného materiálu.

Samotná úprava filtru vyžaduje odstranění stávajícího zaneseného substrátu v tloušťce přibližně 10 cm, přičemž stávající hydroizolace bude ponechána beze změny. Na takto upraveném podloží budou vytvořeny 3 podkladní hráze pro umístění šachet AS-VERTI 4. Upravené podloží bude doplněno o aerační potrubí a přívodní čerpací potrubí k jednotlivým šachtám. Po doplnění těchto potrubí se následně navrství substrát ve vrstvách dle PD až do výšky 80 cm. Na navýšeném povrchu bude osazeno rozvodné potrubí DN 110 a distribuční potrubí DN 50, které bude uloženo na betonové sloupky.

Kalové pole – reed bed systém

Kalové pole bude zajišťovat odvodnění a mineralizaci anaerobně stabilizovaného kalu až na 50 % vlhkosti substrátu pomocí přirozeného a extenzivního odvodnění a pomocí kombinace drenážní soustavy a přítomných rostlin (evapotranspirační funkce). Dno kalového pole je od podloží chráněno hydroizolací (oboustranně krytá netkanou geotextílií), následně je nad touto vrstvou rozprostřena drenážní vrstva, nad níž je tenká vrstva pískového substrátu (dle PD). Obvodová stěna je tvořena pomocí pískových vaků, které budou částečně zajišťovat odvodnění kalu, přitom v dostatečné míře zajistí filtraci kalové vody.

Sanace rozdělovacích šachet

Dotčené šachty RŠ 5, 6 a 7, které se zejména vyskytují v agresivním prostředí (přítomný sirovodík z anaerobně čištěné vody), budou sanovány. Rozpadající se povrchová vrstva bude pomocí zednického kladívka „obouchána“, následně bude povrch opatřen hydroizolačním nátěrem. Krytí šachty ze stávajících dubových prken bude nahrazeno pomocí dřevoplastových fošen s předpokládanou delší životností.

Vnitřní potrubí bude upraveno/nahrazeno tak, aby se zajistil správný provoz vícestupňového filtračního systému. Šachta RŠ-5 bude doplněna o tři čerpadla, což

bude vyžadovat přivedení elektřiny z provozního objektu. U ostatních šachet bude docházet pouze k drobným úpravám.

Srážení fosforu

Zařízení pro srážení fosforu bude zahrnovat nadzemní nádrž o objemu 1000 l (typ IBC), přičemž nádrž bude doplněna o malé dávkovací čerpadlo, které bude srážedlo aplikovat pomocí silnostěnné hadice do nátokové části v lapáku písku.

B.2.4 Bezbariérové užívání stavby

Nepředpokládá se užívání stavby osobami se sníženou schopností pohybu, a tudíž není bezbariérové řešení zohledněno.

B.2.5 Bezpečnost při užívání stavby

Při provozování vertikálního filtru i aplikací s čistírenským kalem hrozí zvýšené riziko infekce z důvodu možného kontaktu s odpadní vodou. Stavba musí být opatřena výstražnou tabulí „zákaz vstupu“. Údržbu čistírny může provádět pouze osoba po zaškolení a dle platných směrnic BOZP.

B.2.6 Základní charakteristika objektů

a) Stavební řešení

Úprava 2. filtračního pole

Před výstavbou filtru dojde k odstranění zakolmatovaného materiálu, který bude použit na výstavbu hrází pod akumulčně-dávkovací šachty typu AS-VERTI 4. Stavební řešení, které zahrnuje navýšení filtračního materiálu na úroveň 80 cm od sejmutého povrchu, bude provedeno po vrstvách z materiálů uvedených v bodě B.2.6 b. Hydroizolace bude ponechána stávající s tím, že nová úroveň filtračního materiálu nepřesáhne její stávající výšku vyvedení na okraji filtru. Podkladní hráze ze sejmutého materiálu budou provedeny do výšky 1,3 m od upraveného (sníženého) povrchu. Při této výšce bude na výstavbu hrází použita většina sejmutého materiálu. Jako podklad pro akumulčně-dávkovací šachty typu AS-VERTI 4 se použijí silniční panely, které zajistí rovnoměrné roznesení zatížení. Z takto usazených šachet se následně po rozprostření nového filtračního materiálu instalují dílčí potrubní rozvody dle výkresové dokumentace.

Kalové pole

Před výstavbou kalového pole musí být skryta ornice, následně je ve výkopu uložena hydroizolace. Vnitřní prostor tvoří drenážní vrstva s krycí (pískovou)

vrstvou, v níž je vysázena mokřadní vegetace. Obvod kalového pole je ohraničen pískovými vaky do výšky cca 1,0 m.

b) Konstrukční a materiálové řešení

Úprava 2. filtračního pole

Pro navýšení filtru budou použity přírodní materiály, jako je říční štěrk, praný písek a drcený lomový kámen. Tento materiál bude na stavbu dopraven ze štěrkopískovny Českomoravský cement (pískovna Hulín).

Skladba filtračního pole:

Kamenivo	Tloušťka vrstvy v mm
Říční štěrk frakce 4/8 mm	100
Praný písek frakce 0/4 mm	600
Drcený lomový kámen 4/8 mm	100
Celkem	800

Jak vyplývá z předešlého popisu stavebního řešení, tak je nutné vytvořit podkladní hráze pro akumulčně-dávkovací šachty typu AS-VERTI 4. Tyto hráze budou vytvořeny ze zaneseného materiálu do výšky 1,3 m, přičemž sklony svahů po obvodu budou 1:1. Stávající zanesený filtrační materiál bude sejmут v tloušťce 100 mm z celého povrchu filtru (1200 m²). Horní okraj podkladních hrází bude zarovnan co možná nejpřesněji (+/-1 cm). Na upravený a vyrovnaný povrch filtru bude uloženo aerační potrubí DN 80 z děrovaného PVC (drenážní). Potrubí je vedeno v přechodovém filtru s minimálním krytím 50 mm. Aerační potrubí je uloženo kolmo na filtrační pole (dle PD) a probíhá přes celou šířku filtru. Ukončení na obou koncích se zrealizuje trubkou z PVC KG DN 110, která bude vyvedena nad úroveň filtru a uzavřena děrovanou záslenkou. Takto uložené aerační potrubí bude zasypano materiálem přechodového filtru (drcený lomový kámen 4/8 mm). Přechodový materiál zabráni zanesení aeračního potrubí praným pískem, který je následně navezen v tloušťce 600 mm. Po vyrovnaní a navrstvení praného písku již nesmí dojít k pojíždění filtru těžkou mechanizací, aby nedošlo k jeho zhutnění. Navazující a finální vrstvou bude pohledový štěrk frakce 4/8 mm, který zajistí rychlý průnik odpadní vody na hlavní filtrační vrstvu a zároveň vhodné podmínky pro růst následně vysazené vegetace.

Nyní je odpadní voda dopravována na 2. filtrační pole gravitačně. V rámci navrhované úpravy bude nezbytná rekonstrukce šachty RŠ5, do které se osadí 3 čerpadla. Tato čerpadla budou přivádět vodu do 3 akumulčně-dávkovacích šachet usazených nad povrchem filtračního pole. Pro přívod vody se použije potrubí PE SDR11 DN 40, které se uloží na dno nově budovaného filtru (na skrytý

přechodový filtr). Samotný rozvod odpadní vody, která je akumulována ve vyvýšených akumulčně-dávkovacích šachtách, je nutné opatřit systémem pulzního skrápění, čímž dojde k rozložení pomalu přitékající vody na několik denních dávek (10–15). Tímto přístupem dojde k zajištění vodou nenasyceného filtračního prostředí, resp. maximálnímu okysličení odpadní vody a tedy účinné transformaci amoniakálního dusíku na dusičnanový dusík. Odpadní voda bude akumulována ve třech speciálních šachtách AS-VERTI 4. Účinná distribuce vody je závislá na výškovém rozdílu mezi rozvodným potrubím a šachtou. Šachty AS-VERTI 4 je nutné umístit na podkladní betonový panel, čímž dojde ke zvýšení zmiňovaného převýšení a roznesení zatížení do konstrukce hráze. Z takto připravených šachet bude vedeno rozvodné potrubí, které dopravuje odpadní vodu k jednotlivým větvím distribučního potrubí, jehož funkce spočívá v rovnoměrné distribuci vody na plochu dílčí části filtru (400 m²). Důležitým parametrem je zajištění vodorovnosti jednotlivých větví tak, aby docházelo k rovnoměrnému plnění potrubí, čehož bude dosaženo podložením potrubí betonovými sloupky.

Použité druhy potrubí:

- aerační potrubí DN 80 PVC děrované,
- ukončení aeračního potrubí z trub DN 110 PVC KG,
- přívodní potrubí k šachtám PE SDR11 DN 40,
- rozvodné potrubí PP-HT DN 110,
- distribuční potrubí PP-HT DN 50.

Nákres přesného rozmístění jednotlivých potrubí je součástí výkresové části.

Celkově tedy dojde k navýšení stávající úrovně filtračního materiálu o 700 mm, což nebude vyžadovat úpravu stávající hydroizolace.

Kalové pole: systém reed-bed

Kalové pole reed-bed, dimenzováno podle ČSN 75 6402, zajistí potřebné odvodnění kalu až na vlhkost substrátu 50 %. Konstrukční řešení vyžaduje, vzhledem k nové stavbě, odstranění ornice do hloubky 25–30 cm, přičemž dno by mělo být spádováno ve sklonu 1 % směrem ke středu kalového pole. Celé dno bude zakryto hydroizolací (PVC Fatrafol tl. 1,0 mm), která bude oboustranně kryta netkanou geotextilií o hustotě 500 g/m². Okraje hydroizolace jsou vyvedeny nad úroveň původního terénu, přičemž v bezprostřední blízkosti by měla být vytvořena bezpečnostní hráz, tvořena stávající orniční vrstvou. Tato bezpečnostní hráz bude vytvořena tak, aby došlo ke spotřebování veškeré vytěžené zeminy, tzn. velikost

sklonu pro vyrovnání převýšení mezi korunou hráze a původním terénem bude volena tak, aby došlo ke spotřebování vytěženého objemu zeminy.

Do vnitřního prostoru izolované „vany“ bude vsypán drenážní materiál, včetně osazeného drenážního potrubí (dle PD). Výška filtračního materiálu bude 25–30 cm až po úroveň původního terénu. Následně budou po obvodu reed-bed pole uloženy speciální pískové vaky zajišťující případné zadržení kalové vody. Při realizaci a uvádění do provozu bude na obvod reed-bed pole umístěno celkem 6 řad pytlů po obvodu. Následně při budoucím provozování budou tyto řady postupně navyšovány podle potřeby.

Sanace a úprava šachet

Na základě úpravy druhého filtračního pole vzniká požadavek na úpravu rozdělovacích šachet RŠ 5, 6 a 7, resp. jejich vnitřního vybavení. Z pohledu zachování kvality šachet bude vyžadovat stávající situace sanaci vnitřních stěn uvolněním nepříliš pevně přiléhajících betonových částic ke stěnám šachet. Následně po zbavení odpadajících kusů bude provedena sanace hydroizolačním nátěrem (např. DenBraven, Krystalizol), který proniká hluboko do struktury betonu. Úpravou se zajistí dlouhodobá stabilita šachet.

U všech šachet je při horním okraji potřeba stávající kovové části (výztuže, L-profilu) zabezpečit protikorozním nátěrem (ne základovou barvou). Vstup do šachet bude opatřen dřevoplastovými fošami s předpokládanou vysokou životností, přičemž max. nepodepřená délka fošen je 60 cm – zajištění stabilizace bude provedeno pomocí nerezového profilu 40 x 30 mm, oboustranně podepřeného pomocí plastové desky PP o tloušťce min. 15 mm.

c) Mechanická odolnost a stabilita

Nebude narušena stabilita upravovaného filtračního pole, hráze pod akumulčně-dávkovací šachty typu AS-VERTI 4 jsou realizovány ve sklonu 1:1. Následné zatížení od naplněných šachet bude roznášeno do plochy hráze silničním panelem o rozměrech 2,98/1,98/0,22 m.

Mechanická odolnost reed-bed pole spočívá v odolnosti hydroizolace. Přestože je hydroizolace uložena oboustranně v netkané geotextilii, bude vhodné drenážní vrstvu rozprostírat manuálně (stroje by neměli na hydroizolaci přímo najíždět). Při budoucím odkalování reed-bed systému nebude odstraňována spodní vrstva cca 20 cm mineralizovaného kalu, tzn., bude možné na takto zajištěné dno najíždět stroji.

Stěny reed-bed systému budou postupně stabilizovány a spojovány s odvodňovaným kalem. Nehrozí jejich destrukce vlivem porušení statiky.

B.2.7 Základní charakteristika technických a technologických zařízení

a) Technické řešení

Pro zajištění větší účinnosti odstranění amoniakálního dusíku (N-NH_4^+) a vyřešení problémů se zasířením na odtoku je nutné upravit zapojení filtračních polí z paralelního na sériové. Tím se zajistí průchod odpadní vody přes všechny tři filtry (horizontální – vertikální - horizontální). Znečištěná voda bude střídavě vystavena anaerobnímu a aerobnímu prostředí, čímž za přispění procesů nitrifikace a denitrifikace docílíme odstraňování jak N-NH_4^+ , tak i částečně celkového dusíku (N_{celk}).

Pro dosažení sériového zapojení je nutné upravit revizní šachty pro jednotlivé filtry. Významnou úpravou projde šachta RŠ5, ve které budou umístěna 3 čerpadla, která budou ovládána pomocí plovákového mechanismu. Čerpadla dávkuje odpadní vodu do tří akumulčně-dávkovacích šachet na povrchu filtru. Tato čerpadla mohou přivádět na vertikální filtr omezené množství odpadních vod z toho důvodu, aby nedošlo k jeho přetížení a zhutnění jemného filtračního materiálu tíhou vody. Proto je nutné v šachtě vytvořit bezpečnostní přepad napojením na stávající odtokové potrubí. Přepad bude realizován svislým potrubím, které přebytečnou vodu odvede na poslední horizontální filtr. Podrobná úprava šachet je součástí výkresové dokumentace. Ostatní potrubní rozvody budou zachovány ve stávajících dimenzích a nebudou upravovány.

Pro zajištění přečerpání vody z šachty RŠ5 do akumulčně-dávkovacích šachet bude nutné zajistit připojení el. energie.

b) Výčet technických a technologických zařízení

AS-VERTI 4

Denní množství přitékající odpadní vody: $Q_{24} = 150 \text{ m}^3/\text{den}$

Hydraulické zatížení povrchu filtru	125 mm/ den
Množství vody na jeden vypouštěč	12,50 m^3/den
Počet denních dávek (spouštění)	12 dávek/den
Objem jedné dávky	1,02 m^3
K dispozici výška vodního sloupce	1,30 m
Plocha šachty v půdorysu	3,14 m^2
Poloměr šachty	1,00 m
Průměr šachty	2,00 m
Celková výška šachty	1,90 m

AS-PULZ

Vypouštěč bude podle výpočtu AS-VERTI 4 seřízen na minimální výšku vodního sloupce 40 cm (ode dna šachty) a max. výšku 1,70 m ode dna šachty. Průměr vypouštěče bude 110 mm (typ AS-PULZ 110).

ČERPADLA

Doporučeno použití kalových čerpadel, která jsou určena pro trvalý provoz. Čerpadla mohou být bez plovákového spouštěče, který ale musí být doplněn např. typem spínače H07RNF (délka kabelu 5 m). Každé čerpadlo připojeno na vlastní spínač, přičemž spínače budou v šachtě umístěny tak, aby spínala a vypínala při stejné hladině.

Výrobce: HCP PUMP MANUFACTURER CO., LTD

Kód výrobce: AL21A

Kat. číslo: ZB00002995

Hmotnost položky: 16 kg

Dimenze připojení: 2"

Plovák: Ne

Jmenovité napětí (V): 230

Výtlak max. (m): 16

Průtok max. (m³/hod): 10,2

Připojení čerpadel bude provedeno z rozvodné skříně provozního objektu, která bude doplněna o 3 fázové jističe 16 A. Pro připojení lze použít kabely např. CYKY 4xB16 – zemní kabel. Tyto kabely budou vedeny pod povrchem s dostatečným krytím – min. 70 cm ve volném terénu. Jelikož je nutné zajistit připojení 3 čerpadel, z nichž ke každému musí být veden samostatný kabel, tak předpokládaná šířka výkopu bude činit 80 cm, přičemž kabely od sebe budou ve výkopu vzdáleny 10 cm. Zemní kabely budou uloženy do pískového lože tloušťky 10 cm a zároveň kryty obsypem tloušťky 30 cm. Na vytvořený obsyp bude umístěna výstražná plastová perforovaná folie červené barvy, která bude kryta hutněnou vrstvou zeminy s největším zrnem 63 mm a bez většího množství ostrohranných zrn.

REED-BED SYSTÉM

Technické řešení vychází z ČSN 75 6402, plocha kalového pole odpovídá normovým hodnotám 2-3 oby./m².

Vnitřní užitná plocha: 300 m²

Počet připojených obyvatel: 800 EO

Specifická plocha: $800/300 = 2,65 \text{ EO/m}^2$

Objem kalového prostoru v usazovací nádrži: $37,5 \text{ m}^3$

Max. zatížení při ponechání 10 % kalu: $0,9 \times 37,5 = 33,75 \text{ m}^3$

Povrchové zatížení reed-bed pole: $33,75 / 300 = 12 \text{ cm}$

Výpočtové zatížení (čerpání z usazovací nádrže): max. 4 x ročně

Roční zatížení reed-bed pole: 48 cm

Max. navýšení odvodněného kalu: 10 cm/ rok

Max. doporučená výška (postupně se navyšující): 150 cm

Kapacita reed-bed pole: 15 let

SRÁŽENÍ FOSFORU

	Značení	Hodnota	Jednotka
Použitý koagulant		PAX	
Koncentrace použitého koagul.		$\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$	
Měrná hmotnost koagul.	ρ	1360	Kg/m^3
Celkové denní množství fosforu k odstranění	P_{ods}	0,9	Kg/d
Spec. dávka koagul. (pouze kationtu Fe^{3+} , Al^{3+})	SDK	1,3	$\text{kg/kg (P)}_{\text{ods}}$
Celk. dávka koagul. (pouze kationtu Fe^{3+} , Al^{3+})	DD_{Kat}	1,1	Kg/d
Celk. denní dávka koagul. (sloučeniny - 100%)	CDK	12,3	kg/d
Denní dávka koagul. (sloučeniny - x%)	DDK	12,3	kg/d
Denní objemová dávka koagul.	DODK	9,1	l/d
Specifická produkce chemického kalu	ξ	4,0	g/g
Denní produkce chemického kalu	DPCHK	4,4	kg/d
Roční průtok		54590,84	m^3
Roční spotřeba srážedla		4506,51	kg
Cena za jeden kilogram srážedla		27,00	Kč/kg
Celková roční cena za srážedlo		121675,84	Kč
Navýšení stočného z důvodu nutnosti srážení fosforu		2,23	Kč/m^3

Dle výpočtu se předpokládá teoretická spotřeba přibližně 4500 kg/rok, tzn. výměna IBC nádrže se srážedlem 1x za tři měsíce. Lze očekávat, že přesné stanovení množství srážedla vyjde z regulace průtoku, resp. z úpravy v rámci testovacího provozu.

B.2.8 Zásady požárně bezpečnostního řešení

Požárně bezpečnostní řešení není záměrem narušeno. Použity jsou převážně nehořlavé materiály.

B.2.9 Úspora energie a tepelná ochrana

Z povahy záměru vyplývá, že nedojde k ovlivnění tepelné ochrany objektu. Zvýšení odběru elektrické energie je spojeno s provozováním čerpadel v revizní šachtě před 2. filtračním polem a použitím dávkovacího čerpadla pro dávkování koagulantu.

B.2.10 Hygienické požadavky na stavby, požadavky na pracovní a komunální prostředí

Hygienické požadavky nebudou nijak ovlivněny. Intenzifikace čistírny přispěje ke zlepšení stavu vodního toku Machovka, což bude mít pozitivní vliv na životní prostředí.

B.2.11 Zásady ochrany stavby před negativními účinky vnějšího prostředí

a) Ochrana před pronikáním radonu z podloží

Území se nenachází v lokalitě se zvýšeným radonovým rizikem. Není řešeno.

b) Ochrana před bludnými proudy

Dle dostupných údajů se v blízkosti čistírny nenachází žádný zdroj, který by mohl způsobovat vznik bludných proudů.

c) Ochrana před technickou seizmicitou

Stavba se nenachází v oblasti s technickou seizmicitou.

d) Ochrana před hlukem

Stavba neovlivňuje zatížení prostředí nadměrným hlukem. Proto nejsou řešena žádná protihluková opatření.

e) Protipovodňová opatření

Stavba se nenachází v záplavovém území, proto není nutné zřizovat protipovodňová opatření.

f) Ostatní účinky - vliv poddolování, výskyt metanu apod.

Žádné ostatní účinky nejsou známy. Stavba neleží v poddolovaném území.

B.3 PŘIPOJENÍ NA TECHNICKOU INFRASTRUKTURU

a) Napojovací místa technické infrastruktury

Napojení na technickou infrastrukturu zůstane nezměněné. Jednotná kanalizace je svedena do šachty Š1, z které je odpadní voda přiváděna na hrubé česle s lapákem písku. Potrubí kanalizace je provedeno v dimenzi DN 300, tento rozměr je zachován až po objekt odlehčovací komory.

Užitná voda pro provozní objekt je dopravována z vlastní studny v areálu pomocí čerpadla. Odpadní vody od objektu jsou následně přiváděny na technickou linku čistírny. Čistírna je připojena na síť NN 0,4 kV, přičemž rozvaděč je umístěn v provozním objektu. El. energie je využívána pro potřeby provozního objektu (zásuvky, osvětlení), přečerpání vody z dešťové nádrže a zajištění dopravy vody ze studny. Nově budou připojena 3 kalová čerpadla v šachtě RŠ 5 a dávkovací čerpadlo zajišťující přívod koagulantu.

b) Připojovací rozměry, výkonové kapacity a délky

Připojení kanalizace potrubím DN 300. Z měření průtoku na odtoku z čistírny se uvažuje průměrný bezdeštný průtok Q_{24} 2,5 l/s. Upravený vertikální filtr je možné zatížit maximálním průtokem 2,1 l/s, aby nedošlo k jeho přetížení. Proto přebytečné množství odpadních vod bude odváděné z prvního filtračního pole na třetí filtr. Tím dojde k posílení procesu denitrifikace ve třetím poli a vyšší účinnosti v odbourání celkového dusíku.

Délka kabelu pro připojení kalových čerpadel činí 100 m, připojení čerpadla v IBC nádrži bude provedeno od místa stávajícího připojení čerpadla v dešťové nádrži – předpokládaná délka kabelu 13 m. Připojení těchto čerpadel je možné provést zemním kabelem CYKY 4xB16 s minimálním krytím 70 cm a šířkou výkopu 60 cm. Specifikaci jednotlivých vrstev příčného řezu řeší kapitola B.2.7.

B.4 DOPRAVNÍ ŘEŠENÍ

a) Popis dopravního řešení včetně bezbariérových opatření pro přístupnost a užívání stavby osobami se sníženou schopností pohybu nebo orientace

Dopravní řešení nebude změněno. V oploceném areálu čistírny je zajištěn dostatečný manipulační prostor pro nákladní vozidla. Stavba není při běžném provozu volně přístupná pro veřejnost, a proto nebylo řešeno její bezbariérové užívání.

b) Napojení území na stávající dopravní infrastrukturu

Čistírna je připojena na stávající dopravní síť účelovou komunikací, která se dále připojuje na silnici II/438.

c) Doprava v klidu

Nebude ovlivněna, krátkodobé parkování je možné řešit v rámci manipulačního prostoru čistírny.

d) Pěší a cyklistické stezky

Stavba není napojena na pěší ani cyklistické stezky.

B.5 ŘEŠENÍ VEGETACE A SOUVISEJÍCÍCH TERÉNNÍCH ÚPRAV

a) Terénní úpravy

Navýšení filtračního pole nevyžaduje žádné terénní úpravy. Co se týče kalového hospodářství, tak dojde k rozproštění vytěžené zeminy po obvodu kalového pole tak, aby byl vytvořen pozvolný přechod mezi ochranou hrází a stávajícím terénem a zároveň aby došlo ke spotřebě veškeré vytěžené zeminy.

b) Použité vegetační prvky

Pro osázení vertikálního filtru bude použit rákos obecný, který podpoří samočistící procesy probíhající ve filtračním poli a dotvoří estetickou funkci čistírny. Na 1 m² bude zasazeno 4–5 rostlin. Rostliny budou koseny a sklizeny např. na kalové pole s četností 1x za dva roky.

c) Biotechnická opatření

Biotechnická opatření nejsou vyžadována.

B.6 POPIS VLIVŮ STAVBY NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ A JEHO OCHRANA

a) Vliv na životní prostředí - ovzduší, hluk, voda, odpady a půda

Stavba bude mít pozitivní vliv na životní prostředí. Úpravou filtračního pole dojde k snížení vypouštěných koncentrací odpadních látek, což zajistí zvýšení kvality vody v potoku Machovka.

b) Vliv na přírodu a krajinu - ochrana dřevin, ochrana památných stromů, ochrana rostlin a živočichů, zachování ekologických funkcí a vazeb v krajině apod.

Na území stavby se nenacházejí památné stromy ani jiná ochranná pásma spojená s ochranou přírody a krajiny.

c) Vliv na soustavu chráněných území Natura 2000

Stavba nemá vliv na celoevropsky významné lokality Natura 2000.

d) Způsob zohlednění podmínek závazného stanoviska posouzení vlivu záměru na životní prostředí, je-li podkladem

Posouzení vlivu záměru na životní prostředí nebylo podkladem projektové dokumentace.

e) V případě záměrů spadajících do režimu zákona o integrované prevenci základní parametry způsobu naplnění závěrů o nejlepších dostupných technikách nebo integrované povolení, bylo-li vydáno

Úpravou stavby dojde k dodržení přípustných limitů vypouštěné odpadní vody, které jsou dány nařízením vlády č. 401/2015 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech. Dodrženy budou garantované koncentrace na odtoku z části B.2.1.

f) Navrhovaná ochranná a bezpečnostní pásma, rozsah omezení a podmínky ochrany podle jiných právních předpisů

Stavba bude označena tabulkami „ZÁKAZ VSTUPU“ z důvodu možného kontaktu s odpadní vodou na vertikálním filtru nebo poškození trubních rozvodů. Zároveň je plocha mechanického předčištění chráněna oplocením, oplocení kalového hospodářství bude doplněno. Není nutné vymezovat nová ochranná pásma.

B.7 OCHRANA OBYVATELSTVA

Ochrana obyvatelstva bude zajištěna zamezením přístupu do areálu čistírny.

Při provozu stavby a její údržbě je nutné dodržovat vyhlášky o bezpečnosti a ochraně zdraví při práci. Pracovník provádějící údržbu bude v oblasti BOZP proškolen.

B.8 ZÁSADY ORGANIZACE VÝSTAVBY

a) Potřeby a spotřeby rozhodujících médií a hmot, jejich zajištění

Předpokládaná spotřeba substrátů pro úpravu filtračního pole:

Kamenivo	Množství v m ³
Říční štěrka frakce 4/8 mm	131
Praný písek frakce 0/4 mm	739
Drcený lomový kámen 4/8 mm	121
Celkem	991

Dodávka kameniva bude zajištěna štěrkopískovnou Českomoravský cement v obci Hulín, která je vzdálena 11,5 km od stavby.

Při přípravě podkladu filtru bude sejmuto materiálu do hloubky 100 mm, čímž vznikne 121 m³ substrátu. Převážná část tohoto materiálu bude použita na výstavbu podkladních hrází pod šachty na povrchu filtru. Při výšce hráze 1,3 m se předpokládá přebytek sejmutého materiálu do 10 m³. Ten se použije na vyrovnaní povrchu příjezdové komunikace.

Spotřeba substrátu pro vytvoření systému reed-bed:

Kamenivo	Množství v m ³
Písek frakce 0/4 mm	18
Drcený lomový kámen 4/8 mm	108
Celkem	126

b) Odvodnění staveniště

Rekonstrukce se vztahuje pouze na 2. filtrační pole, odvodnění ostatních ploch a objektů nebude dotčeno. Odvodnění systému kalového hospodářství je řešeno samostatně pomocí drenážního potrubí, které je zaústěno do šachty LŠ1.

c) Napojení staveniště na stávající dopravní a technickou infrastrukturu

Staveniště je napojeno na silnici II/438 účelovou komunikací.

Stávající napojení stavby na jednotnou kanalizaci nebude rekonstrukcí ovlivněno. Napojení staveniště nevyžaduje pro výstavbu zřizovat připojení vody. Odběr užitkové vody je možné zajistit ze studny v areálu ČOV. Staveniště je napojeno na síť NN 0,4 kV v místě provozního objektu.

d) Vliv provádění stavby na okolní stavby a pozemky

Provádění stavby nemá vliv na okolní pozemky. Staveniště nesousedí se zastavěným územím, nedojde tedy k zatížení obyvatel hlukem z provádění výstavby.

e) Ochrana okolí staveniště a požadavky na související asanace, demolice, kácení dřevin

Není vyžadována ochrana okolí staveniště ani žádné asanace, demolice nebo kácení dřevin.

f) Maximální dočasné a trvalé zábory pro staveniště

Staveniště bude zřízeno v místě 2. filtračního pole a oploceném areálu, nebude nutné vytvářet zábory okolních pozemků. Systém kalového hospodářství se bude nacházet z části na pozemku č. 724 (200 m²) a č. 727 (180 m²).

g) Požadavky na bezbariérové obchozí trasy

Požadavky na bezbariérové obchozí trasy nejsou vyžadovány.

h) Maximální produkovaná množství a druhy odpadů a emisí při výstavbě, jejich likvidace

Při likvidaci a nakládání s odpady bude postupováno dle platných právních předpisů a to zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů a vyhlášky č. 383/2001 Sb., Ministerstva životního prostředí o podrobnostech nakládání s odpady.

Při výstavbě se předpokládá vznik následujících odpadů dle vyhlášky č. 93/2016 Sb., o Katalogu odpadů.

Číslo odpadu	Název odpadu	Kategorizace odpadu
17 02 03	Plasty	O
17 04 07	Směsné kovy	O
17 05 04	Zemina a kamení neuvedené pod číslem 17 05 03	O
15 01 01	Papírové a lepenkové obaly	O
15 01 02	Plastové obaly	O

Nepředpokládá se vznik nebezpečných odpadů.

Dodavatel stavby je povinen odpady zařazovat dle druhu a kategorie a zajistit jejich přednostní využití. Odpady, které dodavatel není schopen využít, převede do vlastnictví osoby, která je oprávněna k jejich převzetí. Vzniklé odpady budou průběžně odváženy na řízenou skládku.

i) Bilance zemních prací, požadavky na přísun nebo deponie zemin

Z plochy 2. filtračního pole bude odtěženo 121 m³ původního materiálu. Většina z tohoto substrátu bude použita na výstavbu podkladních hrází pod šachty. Substráty, které budou použity pro navýšení filtru jsou vyčísleny v kapitole B.8a. Zároveň před zahájením realizace bude nutné odstranit usazený kal na ploše filtračních polí, který bude shrnut a dočasně skladován na ploše jednotlivých filtrů. Objem tohoto kalu činí 167 m³.

Objem zeminy vytěžené při realizaci systému reed-bed bude bezezbytku využit na vytvoření ochranných hrází – předpokládaný objem 108 m³.

j) Ochrana životního prostředí při výstavbě

Při provádění stavby nebude negativně ovlivňováno životní prostředí.

k) Zásady bezpečnosti a ochrany zdraví při práci na staveništi

Při provádění stavebních prací musí být dodrženy platné právní předpisy týkající se ochrany zdraví při práci na staveništi, což je zejména zákon č. 309/2006 Sb., zákon, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci) a nařízení vlády č. 591/2006 Sb., o bližších minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví při práci na staveništích.

l) Úpravy pro bezbariérové užívání výstavbou dotčených staveb

Výstavbou nebudou dotčeny stavby, které vyžadují bezbariérové užívání.

m) Zásady pro dopravní inženýrská opatření

Režim úpravy dopravy bude řešen dodavatelem prací. Přeprava materiálu bude realizována po účelové komunikaci, nepředpokládá se tedy zvýšených dopravních opatření.

n) Stanovení speciálních podmínek pro provádění stavby - provádění stavby za provozu, opatření proti účinkům vnějšího prostředí při výstavbě apod.

Při provádění úpravy druhého filtračního pole je vhodné tento filtr z hygienických důvodů dočasně vyřadit z provozu.

o) Postup výstavby, rozhodující dílčí termíny

Stavba by měla být zahájena shrnutím nahromaděného množství kalu na ploše filtračních polí. Shrnutý kal bude dočasně skladován na ploše filtru, čímž dojde k jeho částečnému odvodnění a snížení celkového objemu. Odvodněný kal bude následně odvezen na čistírnu, která umožňuje jeho zpracování v procesu kalového hospodářství. Zároveň po zahájení stavby mohou být prováděny drobnější přípravné práce jako odstranění porušené betonové vrstvy v šachtách RŠ5, 6 a 7 a jejich příprava na provedení následné sanace. V prvních fázích výstavby je také možné provést odkalování dešťové nádrže. K likvidaci tohoto kalu je možné přistupovat obdobně jako u kalu z povrchu filtračních polí.

V navazujících částech výstavby by měla být provedena rekonstrukce druhého filtračního pole dle zásad uváděných v PD. Tato etapa začne shrnutím svrchní vrstvy materiálu, ze které budou následně vytvořeny podkladní hráze, na které budou umístěny železobetonové podkladní panely. Následovat bude pokládka aeračního potrubí a rozprostření nových vrstev filtračního materiálu. Před realizací této fáze by měla být upravena šachta RŠ 5, ze které bude ve dně filtru vedeno přívodní potrubí k jednotlivým hrázím. Na hráze po dokončení rozprostření

substrátu budou umístěny akumulčně-dávkovací šachty. Pokládce potrubních rozvodů na povrchu filtru musí předcházet umístění podkladních betonových sloupků. Po vyhotovení těchto rozvodů by mělo následovat zasazení mokřadních rostlin, které je doporučeno provádět na jaře či nejpozději v září.

Doplnění linky o srážení fosforu není technologicky závislé na rekonstrukci filtračního pole a může být prováděno samostatně.

Samostatnou etapu výstavby by měla představovat realizace systému kalového hospodářství. Tato etapa začne skryvkou zeminy dle PD. Následovat bude vytvoření ochranných hrází, k jejichž zhotovení bude využita veškerá sejmutá zemina. Na připravený podklad budou dále ukládány jednotlivé vrstvy dle PD včetně hydroizolace a drenážního systému. Zároveň je nutné uvažovat s proříznutím asfaltového povrchu z důvodu odvádění odpadní vody z kalového pole zpět na linku čistírny. Po vytvoření konstrukčních vrstev je možné přistoupit k ohrazení prostoru kalového pole pomocí speciálních pískových vaků. Etapa výstavby kalového systému by měla být ukončena zasazením mokřadních rostlin.

B.9 CELKOVÉ VODOHOSPODÁŘSKÉ ŘEŠENÍ

Celkové nakládání s vyčištěnou vodou nebude ovlivněno. Voda bude nadále vypouštěna do potoku Machovka ve schváleném průtoku Magistrátem města Zlína 3,7 l/s.

Na hospodaření s dešťovými vodami nemá úprava stavby vliv.